



AGRICULTURAL RESEARCH INSTITUTE

**PUSA**







**MÉMOIRES**

DE LA SOCIÉTÉ DES

**SCIENCES PHYSIQUES ET NATURELLES**

DE BORDEAUX



**MÉMOIRES**  
**DE LA SOCIÉTÉ**  
**DES SCIENCES**

**PHYSIQUES ET NATURELLES**

**DE BORDEAUX**

**6<sup>e</sup> SÉRIE**

---

**TOME III**

---

**PARIS**

**GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE**

**DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE, DU BUREAU DES LONGITUDES**

**Quai des Augustins, 55**

**A BORDEAUX**

**CHEZ FERET ET FILS, LIBRAIRES**

**15, cours de l'Intendance, 15**

—  
**1903**



A LA MÉMOIRE DE

**ALEXIS MILLARDET**

PROFESSEUR DE BOTANIQUE

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE BORDEAUX

CORRESPONDANT DE L'INSTITUT DE FRANCE

J. PÉREZ, G. RAYET, U. GAYON, J. KUNSTLER,  
E. FALLOT, H. DEVAUX, P. DUHEM, E. GOSSART,  
M. VÈZES, L. MARCHIS, E. VIGOUROUX, E. DUBOURG,  
A. GRUVEL, A. FÉRAUD, P. COUSIN, C. SAUVAGEAU,  
F. CAUBET,

MEMBRES DE LA FACULTÉ.



Millard

1844-1904







FACULTÉ DES SCIENCES DE BORDEAUX

---

# RECUEIL DE TRAVAUX

DÉDIÉS A LA MÉMOIRE DE

ALEXIS MILLARDET

(1838-1902)

PAR LES

PROFESSEURS DE LA FACULTÉ DES SCIENCES  
DE BORDEAUX

*(Décisions de l'Assemblée de la Faculté en date des 21 janvier 1902 et 13 janvier 1903.)*



BORDEAUX

IMPRIMERIE G. GOUNOUILHOU

9-11, RUE GUIRAUDE, 9-11

1903



# NOTICE SUR LA VIE ET LES TRAVAUX

DE

## A. MILLARDET

(1838-1902)

Par MM. GAYON et SAUVAGEAU

---

Millardet (Pierre-Marie-Alexis) est né le 13 décembre 1838, à Montmérey-la-Ville, département du Jura. Par son père, qui était notaire, et par sa mère, née de Florey, il se rattachait aux familles les plus anciennes et les plus honorables du pays. Dans ce milieu, où l'on maintenait avec soin les traditions et l'autorité paternelle, il reçut les principes d'une éducation sévère et se montra toujours fils respectueux.

Joignant aux dons de l'hérédité les qualités des hommes de l'Est, l'activité, la ténacité, la sûreté du jugement, il devait être, et il fut en effet, successivement brillant collégien, étudiant distingué et savant éminent.

L'instruction primaire lui fut donnée par ses parents, et il reçut les premières notions de latin d'un prêtre du voisinage, le curé de Dammartin. En 1850, on le fit entrer au collège des Jésuites de Dôle où il resta jusqu'à sa rhétorique ; il passa ensuite au collège catholique de Besançon pour achever ses études classiques. Partout, il travaillait avec ardeur et remportait chaque année les premiers prix de sa classe ; partout, il a laissé le souvenir d'un élève remarquable et d'un bon et joyeux camarade.

De bonne heure, il aima les fleurs et la botanique; il employait la plus grande partie de ses vacances en herborisations aux environs de Montmérey et, bien qu'il fût passionné pour la chasse, il abandonnait souvent la poursuite du gibier pour celle d'une herbe ou d'une mousse qu'il préparait ensuite et qu'il étiquetait minutieusement dans sa collection.

Après ses baccalauréats ès lettres et ès sciences, son père étant mort en 1854, le Dr Millardet, son oncle, le fit venir près de lui, à Paris, pour préparer le doctorat en médecine, avec la pensée de lui céder plus tard son cabinet et son importante clientèle.

Il commença, en effet, ses études de médecine, mais il voulut se présenter en même temps aux examens de licence ès sciences. Dominé par son goût inné pour les sciences naturelles, il s'adonna de plus en plus à la science pure, fréquenta les laboratoires de recherches plus volontiers que les cliniques ou les salles de dissection, et délaissa bientôt l'École de médecine pour la Faculté des sciences.

Il prenait aussi régulièrement part aux herborisations que les professeurs du Muséum dirigeaient aux environs de Paris, et comparait les plantes de la Flore parisienne avec celles qu'il recueillait dans le Jura, pendant les vacances. Le 28 juin 1861, sur la présentation de Montagne et de Roze, il fut reçu membre de la Société botanique de France, n'ayant d'autre titre que celui d'étudiant en médecine et en Sorbonne.

Ses premiers travaux de botanique datent de cette époque et furent faits à Paris en collaboration avec Montagne. Encouragé par ses premiers succès, il renonça à la situation cependant si avantageuse que lui réservait son oncle, et obtint de sa mère l'autorisation d'aller en Allemagne pour suivre les cours de l'Université d'Heidelberg et se perfectionner dans la connaissance de la langue allemande.

De Heidelberg il se rendit à Fribourg-en-Brisgau, et séjourna dans ces deux villes de 1862 à 1866. On verra plus loin quels laboratoires il y fréquenta, quels savants il y eut pour maîtres, quels Mémoires il y prépara.

Pendant son séjour en Allemagne, il se lia d'amitié avec plusieurs de ses condisciples qui devinrent, comme lui, des savants. « Il était beau garçon et très aimable, nous écrit l'un d'eux, M. le comte de Solms-Laubach, d'une adresse et d'une exactitude de travail qui nous étonnait beaucoup. C'est surtout son talent de dessinateur que nous

admirions. Il fit des dessins que l'on aurait pu croire de la main de Riocreux lui-même. Je l'ai vu travailler pendant trois jours entiers à un petit dessin sur le *Myriangium* qui, plus tard, fut publié. »

Cette ardeur au travail et cette conscience dans l'exécution ne l'isolaient point de ses camarades ; il prenait au contraire une part active à la vie extérieure des étudiants, se mêlait avec entrain à leurs jeux et à leurs exercices, et restait au milieu d'eux toujours jeune et gai.

Revenu en France, Millardet fut reçu tour à tour docteur en médecine et docteur ès sciences. En 1869, il entra dans l'Enseignement supérieur et fut nommé professeur suppléant de botanique à la Faculté des Sciences de Strasbourg. La guerre l'ayant chassé de sa chaire, il fit la campagne avec honneur dans le régiment des mobilisés du Jura en qualité d'aide-major de la 2<sup>e</sup> légion. Puis, voulant rester dans l'Est, il se fit nommer chargé de cours à la Faculté des Sciences de Nancy. Mais, l'enseignement de la Botanique, Minéralogie et Géologie à Bordeaux ayant été dédoublé en 1876, il devint, le 1<sup>er</sup> octobre de la même année, titulaire de la chaire nouvelle de botanique.

Pendant vingt-cinq années, il a professé avec éclat au milieu de nous et formé de nombreux élèves dont quelques-uns sont aujourd'hui des maîtres honorés de notre enseignement supérieur.

« La leçon du maître, a dit l'un d'eux, le Dr Beille, toujours claire et concise, accompagnée de nombreux dessins d'une impeccable netteté, remplaçait désormais les développements longs et confus renfermés dans les traités classiques alors en usage. De temps à autre, dans un aperçu nouveau, il mettait l'élève au courant de ses recherches et lui donnait une idée des patientes observations qu'il avait dû faire pour arriver à ces beaux résultats sur l'hybridation, qui ont eu tant de conséquences pratiques pour la viticulture.

» C'étaient ensuite les manipulations faites souvent sous sa direction, dans les anciens laboratoires, si exigus, puis dans les vastes locaux si bien aménagés de notre palais des Facultés, où chacun pouvait répéter à l'aise les expériences qui avaient fait l'objet des leçons théoriques.

» Je le vois encore abandonnant ses études personnelles pour assister à nos travaux pratiques ou remettant à chacun de nous les compositions écrites soigneusement annotées, relevant les fautes commises, encourageant le travail et montrant ainsi l'intérêt qu'il portait à tous,

» Cette sollicitude qu'il prodiguait ainsi à ses élèves ne s'arrêtait pas au terme de leurs études. Il mettait volontiers à la disposition du jeune licencié les livres et les nombreuses publications de sa bibliothèque, les plantes de son jardin, et se montrait toujours disposé à servir d'intermédiaire avec les savants du monde entier qui entretenaient avec lui des correspondances suivies.

» En quelques minutes de ces inoubliables conversations, un nouvel horizon était ouvert, et la méthode de travail que le Maître avait si souvent indiquée dans ses leçons était un guide sûr dans la voie qu'il venait de tracer. »

Le soin de son enseignement, toujours élevé et maintenu au niveau des progrès les plus récents de la science, ne l'empêcha point de se livrer à des recherches de la plus haute importance pour la viticulture.

Les services qu'il a ainsi rendus ont fait son nom populaire dans tous les pays ; ils sont légion ceux qui ont profité de ses conseils et de ses découvertes. Aussi, de toutes parts, des particuliers et des comices, des Sociétés savantes et des Académies, des gouvernements eux-mêmes, a-t-il reçu de nombreux témoignages de reconnaissance et d'admiration. Malgré sa grande modestie, il était sensible à ces hommages, surtout quand ils lui venaient de ses compatriotes. Son élection en qualité de correspondant de l'Institut de France lui fut, à ce point de vue, particulièrement agréable.

Il fut également profondément ému quand, au lendemain de sa mise à la retraite et de sa nomination de professeur honoraire, la Faculté des Sciences vint en corps lui annoncer qu'à l'unanimité elle venait de décider de publier, en son honneur et en souvenir de l'éclat que ses travaux avaient fait jaillir sur l'Université de Bordeaux, un volume spécial contenant un Mémoire de chacun de ses collègues.

Dans la pensée de quelques-uns, la remise de cet ouvrage devait être l'occasion d'une manifestation plus grandiose et plus étendue. On se proposait, avec le concours des autorités, des corps élus et des viticulteurs, de lui offrir une grande médaille gravée par un artiste de talent et reproduisant ses traits. Toutes les nations viticoles devaient prendre part à ce jubilé solennel ; mais sa mort, survenue le 15 décembre 1902, ne laissa pas le temps de réaliser ces projets.

L'œuvre scientifique de Millardet, poursuivie avec ardeur, malgré les souffrances physiques, souvent très vives, qu'il endurait depuis

quelques années, se divise en deux parties, correspondant aux deux principales étapes de sa carrière universitaire. Avant son arrivée à Bordeaux, il s'occupa de botanique pure et, depuis, il s'est exclusivement consacré aux applications de la botanique. Ses travaux seront analysés dans le même ordre.

## I

Millardet, reçu licencié ès sciences en 1861, très épris de botanique et désireux d'apprendre, saisit l'occasion qui s'offrait à lui de profiter de l'expérience et des conseils d'un cryptogamiste bien connu à cette époque, le Dr Montagne, membre de l'Académie des Sciences.

Montagne, qui avait souvent déterminé et décrit les plantes rapportées de pays lointains par les voyageurs, était sollicité de faire encore le même travail sur des Algues récoltées par Maillard à l'île de la Réunion. Mais ses soixante-dix-huit ans l'empêchaient de l'entreprendre, car, pour la conservation de sa vue et de sa santé, on lui avait interdit l'usage du microscope. Aussi, désirait-il un aide qui, sous sa direction ferait les analyses microscopiques nécessaires à la détermination des espèces. « J'ai trouvé ce collaborateur intelligent, dit-il dans l'avant-propos du *Mémoire sur les Algues de la Réunion*, dans un jeune élève en médecine, M. Millardet, qui joint à l'habitude de manier le microscope une grande habileté de crayon pour représenter les objets qu'il y observe. » Montagne fut assurément satisfait du travail de Millardet, car il associa leurs noms sur le titre du *Mémoire* et à la paternité des espèces nouvelles. Il lui dédia même une Floridée, *Rhodymenia Millardetii*, en écrivant : « Je consacre cette espèce à mon jeune collaborateur, M. Millardet, dont les secours m'ont été fort utiles pour cette publication. »

Le *Mémoire sur les Algues de la Réunion*, daté du 10 juillet 1862, fut probablement le dernier que publia Montagne; en effet, atteint d'un commencement d'hémiplégie, il marchait et parlait difficilement, et mourut en janvier 1866. Millardet conserva un bon souvenir de son passage dans le cabinet de travail de Montagne et une estime toute particulière pour son premier maître; il aimait à rappeler qu'il avait fait ses débuts près de lui.

Nous ignorons les raisons pour lesquelles il le quitta pour partir en Allemagne. Toutefois, le très mauvais état de santé du vieux savant



suffit à expliquer leur séparation scientifique. Il faut dire aussi, qu'à ce moment, la botanique prenait une orientation nouvelle à laquelle, d'ailleurs, Montagne était resté complètement étranger.

La botanique descriptive traditionnelle était encore prédominante en France. De Mirbel, qui avait publié de bons travaux d'anatomie végétale, était mort depuis dix ans, et le glorieux sillon tracé par Dutrochet et de Saussure n'était guère suivi. Cependant, le Dr Lévillé, d'un esprit scientifique plus large que celui de Montagne, et qui arrivait alors à la fin de sa carrière, formait toute une génération de mycologues; Tulasne, aide-naturaliste de la chaire d'Ad. Brongniart au Muséum, et Thuret, élève de Decaisne, publiaient à cette époque leurs beaux travaux cryptogamiques, universellement estimés, et faisaient le plus grand honneur à la science française.

En Allemagne, où les travailleurs étaient bien plus nombreux, la botanique officielle brillait d'un vif éclat; ses différentes branches y avaient pris le caractère nettement scientifique, et des savants d'une grande valeur les cultivaient avec un plein succès. Sous l'influence des Unger, Schleiden, Mohl, Alex. Braun, Nägeli, les Universités allemandes s'étaient peuplées d'hommes dont la notoriété attirait les élèves auprès d'eux. Hofmeister étudiait particulièrement l'anatomie et le développement, Sachs, la physiologie. De Bary, Cohn, Pringsheim, dignes émules de Tulasne et de Thuret, se consacraient aux études cryptogamiques; ils cultivèrent les Algues et les Champignons, d'après des méthodes précises et rigoureuses, longtemps avant que le mouvement bactériologique eût mis ces études à la mode. Les résultats nouveaux qu'ils obtenaient enflammaient les esprits, et l'on conçoit aisément qu'un jeune étudiant, enthousiaste de botanique et non pressé de se faire une situation pécuniaire, ait voulu se perfectionner chez nos voisins.

Millardet se rendit donc à Heidelberg, près d'Hofmeister, puis à Fribourg-en-Brisgau, près de De Bary. C'est là qu'il fit la connaissance d'Askenasy, Kraus, Magnus, de Solms-Laubach, Strasburger, etc., étudiants comme lui, et qui devinrent plus tard des maîtres réputés.

Les difficultés n'épouvantaient pas Millardet. Dès le début, il s'attaqua aux questions controversées. Les meilleurs anatomistes de la première moitié du siècle s'étaient occupés de la structure de la tige des Monocotylées capables d'accroissement secondaire (*Yucca*, *Aloe*, *Dra-*

*cæna*, *Cordylina*) sans réussir à se mettre complètement d'accord sur le processus de cet accroissement. Sous l'inspiration d'Hofmeister, Millardet étudia cette question difficile qui fit l'objet de son premier Mémoire (1865). Il montra comment fonctionne l'assise génératrice des faisceaux d'origine secondaire, et acquit immédiatement la réputation d'un bon observateur et d'un anatomiste habile. Tous les traités de botanique firent mention de ses résultats.

On discutait beaucoup alors les preuves données à l'appui des deux théories expliquant l'accroissement en épaisseur de la membrane cellulaire : la théorie de l'*apposition*, soutenue surtout par Mohl, d'après laquelle l'accroissement dépend du dépôt périodique de membranes nouvelles sur la paroi déjà développée, et la théorie, soutenue surtout par Nägeli, d'après laquelle la membrane croît en épaisseur par *intussusception* d'une nouvelle substance de la même nature. La théorie de la juxtaposition ne pouvait expliquer la structure des parois cellulaires, ni les cas d'épaississement centrifuge, et d'ailleurs la technique histologique n'était pas assez avancée pour vérifier les faits qui lui sont favorables. A l'instigation d'Hofmeister, Millardet fit l'étude des membranes épaisses de la coque de la noix de Paradis, des fibres du *Caryota*, des noyaux des Amygdalées, etc., non en suivant leur origine et leur développement, mais presque uniquement en observant les membranes déjà épaissies, et il en conclut que la théorie de Mohl n'est pas d'accord avec les structures qu'il a observées et que, seule, la théorie de l'intussusception en donne une explication satisfaisante.

En 1868, Millardet publia simultanément, dans les Mémoires de la Société des Sciences naturelles de Strasbourg, plusieurs Notes conçues durant son passage dans le laboratoire de De Bary.

Celle sur les genres *Alichia*, *Myriangium* et *Nectrocymbe* porte ce sous-titre « Mémoire pour servir à l'histoire des Collémacées », qui s'explique par l'intention qu'avait son auteur de publier une monographie de cette famille, intention qu'il n'eut d'ailleurs jamais le loisir de réaliser. Les Collémacées étaient une famille de Lichens à thalle charnu, mal connus et difficiles à étudier. Le premier Mémoire, que Millardet leur consacre, ne contribue que bien indirectement à établir leur histoire, car son objet est précisément de prouver que la ressemblance de ces trois genres avec les Collémacées est tout extérieure, qu'ils ne sont pas des Lichens, mais des Champignons. Encore actuellement, nos connaissances les plus précises à leur sujet sont dues aux

descriptions et aux très remarquables dessins publiés par Millardet; on n'a pas découvert depuis les appareils reproducteurs qui seraient nécessaires pour établir leurs affinités exactes, et leur place dans la classification reste douteuse. Toutefois, adoptant l'opinion de Millardet, on place maintenant le *Myriangium* au voisinage des Tubéracées; l'*Atichia*, que l'auteur avait d'abord cru nouveau et auquel il avait donné le nom caractéristique d'*Hyphodictyon lichenoides*, n'a pas conservé l'importance théorique qu'il lui accordait quand, à cause de la structure si bizarre de son thalle, il le désignait comme un type de transition aux Fucacées et aux Floridées. On préfère actuellement lui donner une place plus modeste, mais toujours incertaine, près des Bulgariées, parmi les Ascomycètes, avec le *Nætrocymbe*, d'affinités tout aussi douteuses.

Le Mémoire classique de De Bary sur les Conjuguées ne donne de renseignement sur la germination des zygotes des Desmidiées que chez quatre genres seulement : *Cosmarium*, *Cylindrocystis*, *Mesotaxium* et *Genicularia*. Millardet suivit cette germination chez deux autres genres *Closterium* et *Staurastrum*, entre lesquels il constata sous ce rapport une différence notable. Chez le *Closterium*, comme dans l'exemple bien connu du *Cosmarium* étudié par De Bary, deux individus nouveaux se développent simultanément par la germination d'un zygote, tandis que chez le *Staurastrum* un zygote donne un seul individu.

A la suite de ce travail, Millardet décrit une nouvelle Algue pour laquelle il crée le genre *Phycopeltis*. La découverte et l'étude de cette petite plante exigeaient de leur auteur de grandes qualités d'observateur. Le *Phycopeltis* fut trouvé dans les endroits humides des forêts qui avoisinent Fribourg, sur les feuilles des branches inférieures des sapins exposées à une rosée abondante; quand il atteint son maximum de développement, son diamètre ne dépasse pas un dixième de millimètre. La découverte était fort intéressante par sa nouveauté, car on soupçonnait à peine, à cette époque, l'existence d'Algues vertes, d'une organisation aussi élevée, épiphytes sur des Phanérogames terrestres; en outre, le *Phycopeltis* rappelait, à l'état adulte, la structure des *Coleochaete* que, dix ans auparavant, Pringsheim avait étudiés dans un Mémoire resté célèbre; au contraire, au début de son développement, le *Phycopeltis* rappelle les *Myrionema*. L'étude de Millardet est restée incomplète; il a bien décrit les zoospores, mais, malgré des efforts fréquemment répétés, il n'a vu les organes sexuels

que sur un seul exemplaire, et encore, probablement trop ému par sa découverte, a-t-il détruit la plante en la disséquant. Ces organes sont encore ignorés. Quoi qu'il en soit, le genre *Phycopellis* est devenu, depuis, le type d'une famille, les Mycoidéacées.

Les recherches de Millardet sur la Matière colorante des Algues sont restées classiques. Elles furent commencées en collaboration avec M. Gregor Kraus, avec lequel il publia un premier travail sur les Phycchromacées ou Algues bleues, et les Diatomées. Kützing avait indiqué déjà anciennement que le pigment des Algues bleues est composé de deux pigments superposés : la chlorophylle ordinaire, soluble dans l'alcool, et le *phycocyane*, soluble dans l'eau. Mais, Nägeli ayant admis au contraire l'unité de ce pigment (*phycochrome*), on avait oublié l'observation de Kützing. Cependant, Cohn et M. Askenasy venaient de la confirmer, lorsque M. Kraus et Millardet reprirent la question, et démontrèrent que la phycochrome est un pigment triple. Ils isolèrent la phycocyane et établirent ses propriétés, puis dédoublèrent la solution alcoolique. En traitant par la benzine la solution alcoolique à 36° saturée de chlorophylle, la benzine s'empare de la chlorophylle pure, tandis qu'une substance plus jaune, encore inconnue, la *phycoxanthine*, reste dissoute dans l'alcool. C'est cette phycoxanthine que, depuis, on a identifiée avec la xanthophylle des Phanérogames, peut-être sans preuves suffisantes.

Dans le même Mémoire, les auteurs étudient le pigment des Diatomées, la *diatomine* de Nägeli, qu'ils dédoublent aussi en chlorophylle vraie et *phycoxanthine*; ils spécifient qu'on n'y trouve pas de pigment supplémentaire soluble dans l'eau, ce qui est assez surprenant; la question présente d'ailleurs des difficultés, et actuellement encore elle est insuffisamment étudiée.

Les circonstances ayant obligé les deux collaborateurs à se séparer, chacun travailla la question de son côté. M. Kraus fit paraître plus tard ses études bien connues sur la Matière colorante verte des Phanérogames. Millardet publia une Note à l'Académie des Sciences sur la Matière pigmentaire des Fucoïdées. En s'adressant à plusieurs genres d'Algues marines, *Fucus*, *Laminaria*, *Halidrys*, *Elachistea*, il découvrit que le pigment brun appelé *phéophylle* par Cohn, triple comme celui des Algues bleues, est le résultat de la superposition de la chlorophylle, de la phycoxanthine et d'une substance brune nouvelle, soluble dans l'eau, la *phycophéine*.

La même année, Millardet présenta presque simultanément pour ses thèses de docteur ès sciences et de docteur en médecine, grades qu'il aurait pu conquérir beaucoup plus tôt, deux travaux importants. Lui qui dessinait avec un vrai talent dut regretter de n'avoir pas le loisir de les illustrer de figures qui en eussent augmenté la valeur.

Son maître Hofmeister, doué d'un remarquable esprit de généralisation et d'une admirable clairvoyance dans l'interprétation des faits qu'il observait, fit faire d'immenses progrès à l'étude de la Botanique. Par ses *Vergleichende Untersuchungen*, auxquelles plusieurs Mémoires préliminaires avaient déjà préparé ses contemporains, il changea complètement l'idée que l'on se faisait du développement d'une Phanérogame. On comprit alors les relations qui unissent les grands groupes de végétaux; ceux-ci n'étaient plus des unités isolées, ils avaient entre eux des rapports de parenté que l'on pouvait arriver à déterminer. Le prothalle des Fougères, que trois ans avant, jusqu'à Lesczyc-Suminski, on prenait encore pour un cotylédon, devenait l'équivalent d'une Mousse pourvue de feuilles et aussi de l'endosperme du sac embryonnaire des Conifères; la tige feuillée d'une Fougère ou d'un Lycopode était l'équivalent de la capsule des Mousses et de la plante Phanérogame, le grain de pollen correspondait à une microspore de Sélaginelle, le sac embryonnaire à une macrospore, etc.

Le phénomène de l'alternance des générations entre la partie sexuée et la partie asexuée d'une plante supérieure était général; il expliquait, par des rapports génétiques, des singularités et des complications incompréhensibles jusqu'alors. Le livre de Hofmeister établissait avec une telle rigueur les rapports de parenté entre les grands groupes du règne végétal qu'il eut la plus grande influence dans la préparation des esprits à admettre la théorie de la descendance, que Darwin publia quelques années plus tard. Mais, naturellement, bien des points de détail restaient à vérifier. L'embranchement des Cryptogames vasculaires, si hétérogène à cause de son ancienneté, renferme des types qu'il fallait suivre l'un après l'autre. Hofmeister eut la bonne fortune de rencontrer des élèves et des collaborateurs qui s'attachèrent à faire triompher sa doctrine en la complétant. Millardet y contribua par sa thèse de docteur ès sciences sur le Prothalle mâle, thèse qui obtint un très grand succès non seulement par les observations personnelles qui y étaient consignées, mais surtout parce que l'auteur y exposait

dans un langage clair et concis les idées de son maître. Hofmeister était en effet un observateur merveilleux, mais malheureusement il ne possédait pas à un égal degré le don de l'exposition. Il était même peu compréhensible; à tel point que Millardet qui habitait l'Allemagne depuis plusieurs années, qui parlait bien l'allemand et avait travaillé dans le laboratoire du maître, ne cite, dans sa thèse, les *Vergleichende Untersuchungen* que d'après une traduction anglaise, et cependant il lisait l'anglais avec difficulté.

Outre le mérite de mettre à la portée des lecteurs français des idées de première importance, que le beau traité de Sachs avait déjà vulgarisées, la thèse de Millardet avait celui de réunir de bonnes observations personnelles. Hofmeister avait montré la dégradation du prothalle, des Cryptogames inférieures jusqu'aux plus élevées; les grandes lignes étaient tracées pour les macrospores; quelques difficultés persistaient toutefois au sujet des microspores, car celles des genres les plus élevés semblaient se transformer directement en un certain nombre d'anthérozoïdes. Millardet démontra que les microspores d'*Isoetes* et de *Selaginella* n'échappent pas à la loi générale, mais que le prothalle mâle y a tellement diminué d'importance anatomique qu'il est réduit à une toute petite cellule, et que la grande cellule subit plusieurs cloisonnements qui la transforment en une anthéridie parfaite. Ces microspores n'étaient donc pas une anomalie; leur germination affirmait au contraire la justesse des vues d'Hofmeister. Pendant trente ans, les descriptions et les interprétations données par Millardet furent citées dans les traités classiques; c'est seulement tout récemment que, grâce aux progrès de la technique histologique, des variantes y ont été introduites, lesquelles sont un perfectionnement, mais non une contradiction.

Dans ce même Mémoire, Millardet combat une idée soutenue à cette époque par Schacht, Roze, etc., et qui, aujourd'hui, nous paraît au moins bizarre. Les anthérozoïdes des Muscinées et des Cryptogames vasculaires traînent souvent après eux une vésicule protoplasmique; ces auteurs admettaient que l'anthérozoïde n'est que l'agent de transport de la vésicule qui est l'élément essentiel, fécondateur. Millardet démontre, en s'appuyant sur ses observations et sur celles de M. Strasburger, par le développement et par la fécondation, qu'il n'en est rien; que la vésicule, loin d'être une partie essentielle de l'anthérozoïde, « n'en est que le résidu », qu'un appendice sans importance, qui peut manquer, sans influence aucune sur la fécondation.

La thèse de docteur en médecine de Millardet a une importance scientifique que ne présentent pas habituellement les travaux de ce genre. Elle est intitulée : « Nouvelles recherches sur la périodicité de la tension; étude sur les mouvements périodiques et paratoniques de la Sensitive. » L'auteur y applique à l'étude des mouvements naturels et provoqués de la Sensitive, les idées de Hofmeister et de Sachs sur la tension. Ces idées paraissent, d'ailleurs, avoir complètement séduit Millardet, car, peu de temps avant, il publia deux analyses très détaillées d'un travail de son ami Gregor Kraus, sur la tension des tissus.

La tension, dit-il, « est l'état dans lequel se trouvent les tissus ou leurs éléments, lorsque, par une circonstance quelconque, la manifestation de leur élasticité se trouve empêchée, soit qu'ils tendent à s'agrandir, soit qu'ils fassent effort pour prendre des dimensions plus faibles ». Trois causes peuvent la produire : la pénétration, dans les vacuoles des cellules, d'une certaine quantité d'eau produisant la turgescence ou tension osmotique; l'accroissement inégal, comme dans une tige qui s'allonge, et enfin, la quantité d'eau contenue dans les membranes cellulaires. La tension se manifeste naturellement par des phénomènes de courbure, de torsion, de mouvement, dus à l'action inégale de divers agents sur les tissus actifs et passifs. Elle est soumise à des variations d'intensité de trois ordres. Les unes dépendent de l'état du développement des organes, et des limites dans lesquelles est comprise leur activité, ce sont les *variations d'évolution*. Les secondes, ou *variations périodiques*, sans qu'on ait pu découvrir leur cause immédiate, ont leur raison dans les phénomènes les plus généraux de la nutrition des tissus; elles se reproduisent à des intervalles sensiblement réguliers, quelles que soient les circonstances dans lesquelles on place les végétaux, pourvu que celles-ci soient compatibles avec une vie assez active. Enfin les troisièmes, que Sachs a nommées *variations paratoniques*, sont causées par l'influence de divers agents physiques ou chimiques (lumière, chaleur, substances toxiques, etc.), et par suite leur manifestation est régulière comme l'action de ces agents.

Ce sont surtout ces deux dernières sortes de variations, et les mouvements qui en résultent, que Millardet eut en vue. Il a minutieusement décrit la morphologie externe et la structure des renflements moteurs primaires, secondaires et tertiaires de la Sensitive; il a fait aussi de nombreuses expériences sur la nature et les causes des mouvements, vérifiant ou discutant les résultats des expériences

de Brücke, de P. Bert, de Sachs, etc. L'énoncé de ces résultats est trop complexe pour que nous les rapportions ici, d'autant plus que bien des détails des causes des mouvements des feuilles de la Sensitive ne sont pas encore éclaircis; nous renvoyons à ce sujet aux traités généraux.

Nommé professeur suppléant à la Faculté des Sciences de Strasbourg aussitôt après la soutenance de ses thèses, Millardet se proposait de continuer ses travaux sur les Lichens, sur les mouvements de la Sensitive et sur les matières colorantes des végétaux. Mais, son activité scientifique fut interrompue par la malheureuse guerre de 1870, à laquelle il prit, comme on l'a dit plus haut, une part honorable en qualité de médecin militaire. Il n'eut plus le loisir, ensuite, de reprendre les recherches qui l'avaient jusque-là particulièrement intéressé.

Pendant son séjour à Nancy, Millardet publia un seul Mémoire original, mais excellent, sur la *solanorubine* de la Tomate. C'est d'ailleurs dans le laboratoire de son collègue de chimie qu'il put le mener à bien, car, dit-il, « à la Faculté des Sciences de Nancy, le professeur de botanique n'a d'autre laboratoire qu'un grenier, où sont les herbiers, et les allées du Jardin des Plantes ».

Millardet montra que les cellules de la tomate mûre ne doivent pas leur coloration seulement à l'anthoxanthine, comme on le croyait, mais aussi à un pigment cristallin, non encore signalé, qu'il nomme solanorubine. Il en a très bien étudié le développement dans les grains de chlorophylle dont la matière colorante donne naissance, à la fois, à l'anthoxanthine et aux cristaux de ce nouveau pigment. L'extraction, la préparation, la cristallisation artificielle, les principales propriétés chimiques, les caractères spectroscopiques de la solanorubine sont bien étudiés dans ce court Mémoire. Seule, la formule chimique n'est pas indiquée, mais Millardet la suppose (à tort d'ailleurs) voisine de celle de la chlorophylle.

La grande importance que Millardet attribuait à ce pigment nouveau a été démontrée par quelques chimistes, et en particulier par M. Arnaud. On sait que, dix ans plus tard, M. Arnaud a prouvé l'identité de composition des cristaux rouges de la tomate et de ceux de la carotte dus à la carotène, et qu'ensuite il a retrouvé cette substance dans les feuilles de toutes les Phanérogames et Fougères, où elle accompagne la chlorophylle. En montrant que la carotène est un carbure d'hydrogène  $C^{26}H^{38}$ , très facilement oxydable à froid, ce savant laisse entrevoir toute l'importance du rôle qu'elle pourrait



jouer dans la feuille, en fixant l'oxygène, pendant que la chlorophylle décompose l'acide carbonique, Qui sait si la carotine d'Arnaud, autrement dit la solanorubine de Millardet, ne jouerait pas dans certains cas le rôle d'aliment de réserve?

## II

Préparé, comme on l'a vu, par une fréquentation assidue des laboratoires allemands, aux bonnes méthodes d'observation et à la rigueur des recherches scientifiques, habitué de bonne heure à l'étude des Cryptogames et à la technique des observations microscopiques, Millardet était déjà très honorablement connu du monde savant lorsque éclata la crise phylloxérique; aussi, quand l'Académie des Sciences constitua une commission de membres et de délégués pour étudier la nouvelle maladie de la vigne dans son origine, son développement et les moyens de la combattre, songea-t-elle tout naturellement à Millardet. Il avait d'ailleurs eu l'occasion de faire la connaissance partielle du Phylloxéra dans le laboratoire de De Bary, à Fribourg, sur des échantillons de racines de vigne envoyées par Planchon. L'insecte était alors inconnu et personne ne se doutait de ses dangers. Malgré tout, De Bary, craignant qu'il pût être funeste, exigea le lavage soigné de tous les objets qui avaient servi à son étude et défendit à ses élèves d'entreprendre, dans le jardin du laboratoire, des expériences sur sa biologie (lettre de M. le comte de Solms-Laubach). En sa qualité de délégué de l'Académie, Millardet fut chargé, au mois de mai 1874, de l'étude des vignes d'origine américaine au point de vue des ressources qu'elles pouvaient offrir à la viticulture. Il vint à Bordeaux et se mit aussitôt en rapport avec Laliman qui, dès 1869, avait annoncé qu'un certain nombre d'espèces ou de variétés de vignes américaines résistaient chez lui au Phylloxéra, qu'il était possible de les unir par la greffe avec des vignes européennes et de conserver celles-ci en les fixant sur des souches américaines résistantes.

Au cours de ses recherches, en observant attentivement les altérations des racines atteintes par le Phylloxéra, il remarqua bientôt qu'elles sont de deux sortes : indépendamment des *nodosités* déjà dessinées par Maxime Cornu, il découvrit et décrivit le premier les *tubérosités*, dont il fit ressortir l'importance considérable. Les premières, produites par les piqûres de l'insecte sur les jeunes racines, au point où

elles n'ont pas encore terminé leur accroissement en longueur, sont caractérisées par une forte courbure et une augmentation du diamètre de la racine; les secondes, qui sont produites par des piqures sur des radicelles ayant cessé de s'allonger, ou sur des racines plus âgées, sont caractérisées par une hypertrophie des tissus corticaux, et par la formation d'une protubérance au voisinage immédiat des points affectés.

Les racines qui portent des nodosités et des tubérosités ne sont pas seulement dans un état pathologique qui diminue l'activité de leurs fonctions; le plus souvent elles pourrissent et disparaissent complètement. D'après Millardet, la pourriture dans ce cas est déterminée par le développement de moisissures diverses qui pénètrent dans les tissus à la faveur des ouvertures pratiquées dans l'épiderme par l'insecte; leurs filaments mycéliens sont toujours présents et visibles au microscope. La pourriture passe de l'écorce au corps ligneux en suivant de préférence les rayons médullaires qui sont plus accessibles au mycélium que le tissu plus serré et plus dur des faisceaux ligneux. Quand elle atteint les tubérosités, elle est particulièrement grave, car elle entraîne la mort de toute la partie de la racine comprise entre le point pourri et l'extrémité, ainsi que de tout le chevelu correspondant. Elle produit alors l'effet d'une véritable amputation. La pourriture des nodosités a moins de retentissement sur la vie de la plante, parce que la mort ne frappe qu'une partie du chevelu.

Quel que soit le mécanisme exact de la décomposition des racines, il est certain que l'abondance des nodosités et des tubérosités est une menace pour le végétal et que celui-ci, ne recevant plus une nourriture suffisante, est destiné à périr, tôt ou tard, sous les attaques répétées du *Phylloxéra*. La vigne française souffre plus du parasite que la vigne américaine parce qu'elle a plus de nodosités, et que les tubérosités s'y développent sur des racines d'un, de deux et même trois ans; les cépages américains portent au contraire peu de nodosités et les tubérosités se présentent presque exclusivement sur des racines d'une année.

C'est ainsi qu'ont disparu peu à peu les cépages européens dans les terrains mal constitués ou mal défendus par la submersion ou par les traitements insecticides, alors que les variétés américaines se sont montrées partout plus vivaces et plus résistantes.

La résistance d'une vigne au *Phylloxéra* peut donc se mesurer, toutes choses égales d'ailleurs, c'est-à-dire pour un même sol et pour un même climat, au nombre et au volume des altérations caractéris-

tiques des racines et des radicelles, et aussi à la facilité plus ou moins grande avec laquelle nodosités et tubérosités sont envahies par la pourriture. Mais les conditions de résistance sont multiples : les unes sont *intrinsèques*, et ne dépendent que de la plante et de sa constitution ; les autres sont *extrinsèques*, et dépendent des agents extérieurs, sol, climat, culture, etc., qui ont une influence directe sur la vigueur du végétal, sur le nombre de ses racines, sur la propagation et la multiplication du Phylloxéra.

La *résistance effective* d'un cépage quelconque dépend naturellement du concours de toutes ces causes, tant intrinsèques qu'extrinsèques ; aussi est-elle très variable, et l'on a vu souvent des vignes, qui paraissaient devoir posséder une résistance presque illimitée, périr en quelques années sous un même climat en changeant simplement de terrain ou, dans une même nature de terrain, en changeant de climat. Le viticulteur qui veut reconstituer son vignoble connaît les conditions de sol, de culture et de climat qui lui sont propres ; mais il ignore en général les conditions de résistance intrinsèque et les caractères spécifiques des nombreuses variétés américaines mises à sa disposition par les pépiniéristes.

Millardet a essayé de combler ces deux lacunes.

Dès 1885, il avait posé les bases d'un classement des vignes américaines d'après leur résistance intrinsèque ; après plusieurs perfectionnements et des milliers d'observations à l'œil nu dans le vignoble, ou au microscope sur des échantillons conservés dans l'alcool, il établit en 1891 le tableau connu de tous sous le nom d'*échelle de résistance*. Ne pouvant le reproduire ici *in extenso*, nous indiquerons seulement les titres de ses subdivisions, avec les coefficients correspondants de résistance, 10 représentant l'immunité complète et 0 une résistance nulle.

- |   |           |
|---|-----------|
| a. Aucune lésion sur les racines. . . . .   | 10        |
| b. Nodosités habituellement très petites ;<br>pas de tubérosités. . . . .   | 9,5 à 7,5 |
| c. Nodosités devenant insensiblement<br>plus grosses et habituellement<br>plus nombreuses ; tubérosités rares<br>et petites . . . . . | 7 à 5,5   |
| d. Nodosités et tubérosités de plus en<br>plus nombreuses et grosses ; tubé-<br>rosités ; pourriture des racines. . .                 | 5 à 0     |

En tête de la liste se trouvent les espèces américaines très résistantes, *Rupestris*, *Æstivalis*, *Riparia* sur lesquelles Millardet, le premier, dès 1874, appelait l'attention des viticulteurs, etc. ; les vignes européennes occupent le dernier rang, et les autres cépages américains, de résistance décroissante, occupent les rangs intermédiaires.

La caractérisation des différents types demandait pour chaque cépage une étude attentive, longue et délicate. Dès 1874, Millardet reconnut erronée la classification admise à cette époque d'après les travaux de Planchon ; il découvrit le premier, et fit ressortir, le rôle joué par l'hybridation naturelle de la Vigne, et publia en 1885 une classification, qui est restée sensiblement la même, d'un grand nombre de variétés cultivées et d'espèces sauvages.

Son *Histoire des principales variétés et espèces de vignes américaines qui résistent au Phylloxéra* est un véritable monument ampélographique, où l'on trouve l'origine, la description et toutes les particularités de plus de quarante cépages ; de magnifiques planches lithographiques donnent en outre la forme des rameaux, la disposition de la moelle et des diaphragmes, le dessin des feuilles et de leurs nervures, l'aspect des raisins et les caractères de leurs pépins.

Il avait acquis dans la détermination des cépages une habileté extraordinaire : une simple feuille, un fragment de bois, la forme d'un diaphragme lui suffisaient pour reconnaître la pureté d'une race ou le croisement de races diverses. C'est ainsi qu'ayant vu un cépage précieux vendu d'abord sous des étiquettes variées, il le caractérisa comme un *Rupestris* presque pur : c'est le cépage connu depuis sous le nom de *Rupestris* du Lot, *Rupestris phénomène* ou *Rupestris monticola*.

De l'étude des nombreuses variétés de vignes américaines qu'il eut besoin d'examiner, Millardet a déduit cette notion, féconde en conséquences, que la résistance au Phylloxéra est héréditaire et liée fatalement à la constitution de la plante, de telle sorte que les espèces sauvages pures : *Riparia*, *Rupestris*, *Cordifolia*, *Berlandieri*, etc., et les hybrides qui procèdent exclusivement de leurs croisements, sont douées d'une résistance absolue, et qu'au contraire les variétés dans lesquelles, par suite de croisements spontanés ou artificiels, est entré du sang de *V. Labrusca*, et à plus forte raison du sang de *V. vinifera*, constituent des cépages de résistance ordinairement faible ou nulle.

Pour ces derniers hybrides, les conditions extérieures jouent un

rôle considérable sur la durée de leur existence. Si, par l'abondance des fumures, par la richesse du sol, par un état climaterique favorable, la vigueur du cep est suffisante pour refaire chaque année les radicelles tuées l'année précédente, la plante ne souffre pas en apparence; mais, si par suite de mauvais terrains, de gelées, d'excès de sécheresse ou d'humidité, de grêle ou de maladies cryptogamiques, l'équilibre ne peut se rétablir, la plante finit par succomber. C'est le cas de certaines variétés qui ont eu leur moment de vogue et qui sont aujourd'hui délaissées : le Clinton, le Taylor, le Jacquez par exemple.

Pour remplacer ces cépages devenus insuffisants, il y avait un intérêt capital à mettre à la disposition des viticulteurs le plus grand nombre possible de variétés à grande résistance. Ne pouvant, comme l'a fait plus tard M. Viala, dans une mission devenue célèbre, parcourir les forêts des États-Unis pour en recueillir sur place, Millardet essaya d'atteindre le même but par les semis et par l'hybridation.

C'est par semis qu'il obtint le cépage connu sous le nom de Riparia du Colorado  $\epsilon$ ; il avait reçu du Colorado une grappe de raisin cueillie sur un Riparia, — qui était, en réalité, un Riparia-Rupestris, — il en sema les graines et obtint 16 à 18 plantes, dont l'une se rencontra très supérieure aux autres et a constitué un excellent porte-greffe pour les terrains de groies.

Malgré le succès de ce semis, et malgré les avantages qu'elle paraissait présenter pour les viticulteurs, en mettant à leur disposition des porte-greffes peu coûteux, la méthode de la reconstitution par semis de graines sauvages, directement importées d'Amérique, ne jouit que d'une faveur momentanée; elle ne tarda pas à être abandonnée.

Fort heureusement, Millardet mettait en même temps à exécution le projet qu'il avait conçu, à la suite de ses recherches sur les caractères spécifiques des vignes américaines, d'imiter la nature et de faire, lui aussi, des croisements entre différents cépages.

Le premier, il indiqua la technique rigoureuse de l'hybridation artificielle et en fit connaître les lois générales; mais que de difficultés dans la pratique! Il faut, en effet, déposer le pollen d'une fleur mâle ou hermaphrodite sur le stigmate d'une autre fleur, en ayant soin d'éviter toutes les chances, qui sont nombreuses, de fécondation naturelle. Pour cela, on choisit, sur la plante destinée à servir de mère, une ou plusieurs grappes ayant une dizaine de fleurs épanouies; avec des

ciseaux très fins, on détache toutes ces fleurs épanouies, ainsi que celles qui sont les plus en retard et les plus petites, et l'on ne conserve pour les féconder que les fleurs non épanouies et bien venues. Puis, avec les mors d'une pince très déliée, on enlève la corolle de ces fleurs non encore ouvertes; quelques coups de pince supplémentaires arrachent les anthères, et la fleur est castrée. Ensuite, on va récolter le pollen sur des fleurs fraîchement épanouies et dont les anthères entr'ouvertes laissent voir une fine poussière jaunâtre; avec une pince, on arrache une de ces fleurs et l'on en frotte doucement les stigmates dont on veut opérer la pollinisation. Enfin, les grappes pollinisées sont, pendant plusieurs jours, entourées d'un sac de papier ou de mousseline qui les met à l'abri de l'apport de pollen étranger; ces enveloppes sont remplacées plus tard par des sacs de crin destinés à protéger les fruits contre les oiseaux et les insectes. Le Mémoire que Millardet a spécialement consacré en 1891 à cette question, se termine par un chapitre sur les principales combinaisons que l'on peut se proposer d'obtenir dans le croisement, et par un autre sur l'*« éducation des hybrides »*. Son livre est un véritable manuel que devront connaître et étudier tous ceux qui se proposent de réaliser des fécondations artificielles.

Toutes ces manipulations exigent que l'opérateur se mette à genoux ou s'allonge sur le sol, exposé aux rayons ardents du soleil; situation pénible pour un savant plus habitué aux travaux du laboratoire qu'à la vie des champs; plus pénible encore pour Millardet, qui était en proie à des souffrances souvent intolérables! Rien ne l'arrêtait cependant, et chaque année, au printemps, il allait dans l'Hérault procéder à de nouvelles hybridations.

Lorsque les graines provenant d'une fécondation artificielle étaient arrivées à maturité complète, on les conservait dans un lieu sec jusqu'au printemps suivant; on les semait alors dans de très petits pots, ou en plein air, dans un sol riche; et, quand les jeunes plantes avaient une hauteur de 5 à 6 centimètres, on les transplantait dans de grands pots ou en pleine terre; à la fin de la saison, elles pouvaient atteindre plus d'un mètre de développement. Dès l'année suivante, au mois de mars, on les transplantait en plein vignoble phylloxéré, et l'on traitait la plantation comme une vigne ordinaire. Au bout de quelques années, s'il arrivait que des plants fléchissaient et se montraient couverts de nodosités et de tubérosités,

on les sacrifiait comme insuffisants; parmi ceux qui résistaient au Phylloxéra, on faisait une nouvelle sélection, et l'on ne conservait que les pieds les plus beaux et les mieux venus. Le bois de taille, issu de leurs souches, servait à la multiplication et à la propagation du nouveau cépage.

Mais, pour réaliser un aussi vaste programme, il fallait beaucoup d'espace et beaucoup d'argent. Millardet, dont les travaux avaient attiré déjà l'attention du monde viticole, trouva, dès 1880, le concours à la fois intelligent et désintéressé dont il avait besoin chez M. le marquis de Grasset, grand propriétaire de l'Hérault, qui n'hésita pas à mettre à sa disposition son temps, sa fortune et de vastes étendues de terrain. Leur collaboration a duré près de vingt années, et ceux qui ont visité le magnifique champ d'expériences de Laval, ont pu se rendre compte de ce qu'elle représentait de science, de méthode et d'efforts. Les résultats obtenus ont été d'ailleurs des plus heureux pour la viticulture. Des milliers de croisements qu'ils ont opérés soit entre vignes américaines seules, soit entre vignes européennes et vignes américaines, il est resté une précieuse collection de cépages propres à la reconstitution de tous les vignobles.

En hybridant les cépages américains par les cépages français, Millardet avait pour but de réunir, dans une même plante, les qualités de la vigne américaine avec celles de la vigne française, de combiner la résistance de l'une, au Phylloxéra par les racines et au Mildiou par les feuilles, avec la puissance de fructification de l'autre et sa faculté de produire des raisins propres à la vinification. Avec les variétés franco-américaines ainsi créées, il espérait simplifier et hâter la reconstitution, éviter les traitements anticryptogamiques et diminuer par suite les frais de premier établissement et de culture. Un instant, ce but parut atteint, mais les cépages obtenus ne purent entrer dans la pratique viticole. Malgré sa foi dans la science, et malgré un travail acharné de plusieurs années, il dut s'avouer vaincu. Il finit même par croire la chose impossible, car il écrivait le 1<sup>er</sup> juin 1897, nous dit un de ses collaborateurs de la première heure, M. F. Bouisset : « Mon opinion actuelle est qu'il sera très difficile, sinon impossible, de créer par l'hybridation des producteurs directs de quelque valeur, à cause de l'antagonisme qui existe chez les hybrides entre les qualités de fructification et la résistance au Phylloxéra. »

Il se pourrait pourtant que la science n'eût pas dit son dernier mot,

et que de nouveaux hybrideurs, plus heureux, donnassent un jour aux viticulteurs des producteurs directs capables de rendre des services dans certaines conditions économiques.

La création de nouveaux porte-greffes par l'hybridation eut heureusement plus de succès.

La résistance d'un hybride au Phylloxéra est en général d'autant plus grande que la somme de ses deux parents l'est davantage elle-même; cependant, il n'y a pas toujours proportionnalité, et quand l'un des parents est européen, elle dépend surtout du père, dont l'influence est ordinairement prépondérante. Si celui-ci est d'origine sauvage et très résistant, il transmet intégralement son immunité à ses descendants, sans se laisser affaiblir en eux par la non-résistance de la mère.

C'est grâce à cette curieuse propriété du père que Millardet et de Grasset, en fécondant le Chasselas par le Berlandieri, ont pu créer leur 41 B, si précieux pour les terrains crayeux, où il s'adapte parfaitement sans craindre ni la chlorose ni le Phylloxéra, qu'il soit ou non greffé. D'autres hybrides de français par Berlandieri sont encore à l'étude et paraissent doués de qualités remarquables. De même, ils ont obtenu le Cabernet  $\times$  Rupestris-Ganzin n° 33 A, qui constitue un excellent porte-greffe pour les terres sèches, compactes et pauvres, moyennement calcaires ou non calcaires.

Parmi les porte-greffes issus exclusivement du croisement de vignes américaines, qui ont été sélectionnés après une longue étude et une observation prolongée, il convient de citer :

Le Rupestris  $\times$  Cordifolia 107 — 11, d'une grande valeur pour les terrains secs; le Riparia  $\times$  (Cordifolia  $\times$  Rupestris) 106 — 8, propre aux terres argileuses, argilo-siliceuses et argilo-calcaires; cet hybride est constitué pour moitié par le Riparia, pour un quart par le Rupestris et pour un autre quart par le Cordifolia;

Le Riparia  $\times$  Rupestris 101 — 14 et 16; les Rupestris  $\times$  Berlandieri 219, 301 A et B; le Berlandieri  $\times$  Riparia 420 A, qui conviennent aux terres calcaires, argilo-calcaires, marneuses et même crayeuses.

Tous ces hybrides furent minutieusement décrits et représentés en planches dans la *Revue de Viticulture*. Avec quelques autres moins importants, ils ont été l'objet de nombreux essais dans des champs d'expériences choisis à dessein sous des climats variés : dans l'Hérault, chez M. F. Bouisset; dans le Gers, chez M. Thibaut; dans la



Dordogne, chez M. Dethan; dans les Charentes, chez MM. de Verneuil, Bethmont et Pelletant.

Les cépages plus spécialement destinés à la reconstitution en terrains calcaires charentais ont été en outre longuement observés, avant et après greffage, dans les champs de la Station Viticole de Cognac, sous le contrôle des deux savants agronomes et viticulteurs qui l'ont successivement dirigée, MM. Ravaz et Guillon. L'épreuve ayant été décisive pour quelques-uns de ces porte-greffes, notamment pour le 41 B et pour le 420 A, Millardet n'hésita pas à affirmer sa confiance en face des timorés ou des incrédules; il planta lui-même, de ses propres deniers, une surface de plus de 30 hectares, au Parveau, en pleine Grande Champagne, dans un des terrains les plus calcaires des environs de Cognac; et, avant de mourir, il a eu la satisfaction de constater qu'il avait réussi à ressusciter ce magnifique vignoble, célèbre par la qualité exceptionnelle de ses eaux-de-vie, et que celles-ci, toujours dignes de leur antique réputation, étaient encore l'objet de la faveur des distillateurs et des négociants charentais.

Nous devons une attention toute particulière à un Mémoire de Millardet, qui n'a peut-être pas eu dans le milieu viticole tout le retentissement qu'il méritait, mais dont l'importance botanique, ou mieux biologique, est considérable. Nous voulons parler de sa *Note sur l'hybridation sans croisement ou fausse hybridation*.

Dans son ouvrage fondamental sur l'hybridation des végétaux, paru en 1849, Gärtner formule cette loi que « nous ne connaissons aucun cas où le type d'une des espèces composant un hybride ait passé intégralement dans ce dernier ». Tous les botanistes qui se sont occupés d'hybridation, avant comme après lui, ont partagé cette même opinion.

Cependant, on trouve, dans les expériences de Gärtner, quelques cas où les individus obtenus à la suite d'hybridations furent entièrement semblables à la mère, mais il n'osa jamais affirmer leur nature hybride, et attribua leur production à des négligences dans la castration des fleurs ou dans l'isolement des plantes. De même, Naudin obtint avec les *Datura* des hybrides qui différaient bien peu des parents. Plus récemment, M. Focke, qui a cité des faits du même genre chez certaines Monocotylédones, a émis l'hypothèse que, dans les cas où les hybrides reproduisent exactement le type maternel, les ovules d'où ils sont

sortis n'ont pas subi la fécondation, se sont développés par parthénogenèse sous l'influence de l'excitation produite par le pollen étranger; le phénomène n'est pas une fécondation, c'est une « pseudogamie ». Mais si l'on a parfois signalé la reproduction intégrale du type maternel dans l'hybridation, celle du type paternel avait échappé à tous les observateurs. Millardet fut le premier à l'obtenir.

Il a publié une série d'observations qui prouvent que, si l'on croise ensemble certaines espèces de Fraisiers, les produits du croisement, c'est-à-dire les hybrides qui en résultent, font exception à la loi générale posée par Gärtner. Au lieu de réunir, ainsi que cela se voit habituellement, la plupart des caractères des deux espèces unies par le croisement, ces hybrides offrent exclusivement les caractères distinctifs de l'une ou de l'autre de ces espèces, soit du père, soit de la mère, et jamais un mélange de ces caractères. Millardet a désigné ce phénomène sous le nom de *fausse hybridation* ou d'*hybridation sans croisement*.

Ces résultats intéressèrent beaucoup les biologistes, et l'on se préoccupa de les faire rentrer dans les théories générales sur la fécondation et la parthénogenèse.

Les Vignes peuvent aussi fournir de faux hybrides. Voici comment Millardet s'en aperçut. On savait depuis longtemps qu'un *Rotundifolia*, le *Scuppernong*, est indemne de Phylloxéra, d'Oidium, de Mildiou et de Black Rot. Aussi, dès ses premiers essais d'hybridation, chercha-t-il à croiser cette plante avec différents cépages de *Vinifera* et de *Rupestris*, pour obtenir des hybrides plus réfractaires aux diverses maladies. Le succès ne répondit pas aux efforts de Millardet, tout au moins dans le sens qu'il désirait, et cela tient précisément à ce que le *V. rotundifolia* donne de faux hybrides. Ainsi, lorsque le *Scuppernong* fonctionne comme père relativement à certains *V. vinifera* (*Chasselas*, *Pedro-Ximenes*, etc.) ou au *V. rupestris*, il y a production de faux hybrides ayant les caractères de la mère (par conséquent absence d'immunité vis-à-vis des maladies).

Des expériences inverses furent tentées; il chercha à féconder le *Scuppernong* par différents cépages européens, mais sans jamais réussir; les grappes tombaient dans la quinzaine qui suivait la pollinisation.

Il y aurait là des expériences intéressantes à reprendre. D'après une plante obtenue de semis et observée par Millardet, il semble bien que le *Scuppernong* peut jouer aussi le rôle de mère, et que, dans ce cas, l'hybride réunirait les caractères des deux parents.

Ces expériences, qui ont une très grande importance au point de vue de la théorie générale de la sexualité, ne semblent malheureusement pas susceptibles de résultats pratiques, tout au moins pour le moment.

Enfin, les exemples de fécondation entre deux genres étant très rares dans le règne végétal, il est bon de rappeler ici que Millardet a tenté l'hybridation de la Vigne vierge (*Ampelopsis hederacea*) avec notre Vigne cultivée (*Vitis vinifera*). Lorsque la Vigne vierge joua le rôle de mère, avec le pollen de la Vigne française, le résultat fut négatif. Mais dans l'expérience inverse, la Vigne vierge jouant le rôle de père, la fécondation se fit bien. La germination des pépins donna des plantes qui avaient tous les caractères de notre Vigne cultivée; c'était un nouvel exemple de fausse hybridation. Au moment où Millardet publiait ces résultats (21 décembre 1901), il n'avait pas encore eu l'occasion d'en examiner le pollen. Ce dernier Mémoire, bien court, de quatre pages seulement, mais d'un haut intérêt scientifique, fut son dernier travail.

### III

L'œuvre ampélographique de Millardet eût suffi à le rendre célèbre dans le monde viticole; il ne l'est pas moins par ses recherches sur le Mildiou et sur les moyens de le combattre; mais cette dernière œuvre a rendu son nom peut-être plus populaire.

On peut dire qu'il était prédestiné à l'étude des maladies cryptogamiques de la vigne, car ses premiers travaux renferment des recherches importantes sur les Cryptogames, et, dès 1873, avant qu'il s'occupât de la question des vignes américaines, il publiait un Mémoire étendu sur la maladie des pommes de terre causée par le parasitisme du *Phytophthora* (*Peronospora*) *infestans*.

Or, le Mildiou de la vigne est dû, lui aussi, à une Péronosporée, le *Plasmopara* (*Peronospora*) *viticola*. Millardet le découvrit, en 1878, à la pépinière de la Société d'Agriculture, de la Gironde, sur des semis d'Éstivalis, en même temps que Planchon le reconnaissait sur des feuilles de Jacquez qui lui avaient été envoyées de Coutras.

Les feuilles attaquées par ce parasite se dessèchent et tombent avant l'heure; il en résulte que le raisin mûrit mal, que le volume du moût diminue, et que le degré alcoolique du vin s'abaisse dans des proportions considérables. Ses effets sont aussi désastreux pour la

conservation et la qualité du vin que pour la végétation et l'existence même de la vigne.

En 1882, Millardet donne une description détaillée du champignon ; il insiste sur la germination des conidies ou « spores d'été » et sur les circonstances qui peuvent favoriser ou entraver le développement de la maladie ; il explique la rapidité et l'intensité des invasions par les temps humides et chauds sous l'influence du brouillard et des rosées abondantes, tandis que, par les temps secs, chauds mais non orageux, le parasite apparaît à peine et reste inoffensif pour la vigne ; il mentionne aussi, décrit et figure le Rot, cette forme particulière que présente le Mildiou lorsqu'il se développe sur les divisions de la grappe ou dans l'intérieur des grains de raisin.

La même année, il établit que les œufs, ou « spores d'hiver », qui se forment dans l'épaisseur des feuilles, déterminent l'invasion vernale des vignobles par le Mildiou ; lorsque ces organes de reproduction sont en contact pendant plusieurs semaines avec des graines de vigne en voie de germination, ils opèrent l'infection des jeunes semis, et l'on voit apparaître le *Plasmopara viticola* avec ses efflorescences caractéristiques sur la face inférieure des cotylédons. Il suffit donc qu'une graine de vigne, jetée par l'homme ou disséminée par les oiseaux, germe dans le sol, au commencement de mai, en contact avec quelques fragments de feuille mildiousée, pour que la jeune plante se recouvre de conidies et que, par elles, sous l'action du vent et d'un temps favorable, la maladie se propage sur tous les ceps environnants.

La même année encore, Millardet est frappé des bons effets qu'exercent sur le Mildiou les aspersions cuivreuses qu'on avait l'habitude de faire, en Médoc, le long des chemins, sur la vigne et les raisins, dans le but de prévenir le grappillage. Ayant constaté que tous les ceps traités étaient restés verts, tandis que les autres avaient perdu leurs feuilles, il proclame l'efficacité des sels de cuivre et institue des expériences qui devaient confirmer plus tard, d'une manière éclatante, cette première affirmation.

Comme il est arrivé souvent dans l'histoire des découvertes, celle de Millardet lui fut un instant contestée ; mais les documents soumis à l'Académie des Sciences, à la Société nationale d'Agriculture et à la Société d'Agriculture de la Gironde ont permis d'établir, de façon indiscutable, son droit de priorité. D'ailleurs, les viticulteurs l'ont universel-

lement reconnu par des témoignages de la plus sincère gratitude et l'Institut l'a officiellement sanctionné en décernant à Millardet le prix Morogues pour l'année 1893.

Le premier, il a donc, comme il l'a hautement revendiqué, « conçu, expérimenté et proposé à la pratique le traitement du Mildiou par le cuivre. » Grâce à lui, le Mildiou a été vaincu et la vigne sauvée du pire des fléaux.

L'efficacité du cuivre s'explique par son action sur les conidies : tandis que dans l'eau pure celles-ci émettent en peu de temps des zoospores qui tourbillonnent d'abord, s'arrêtent, se fixent, puis émettent des filaments perçant l'épiderme des feuilles et commençant l'infection, au contraire, dans des solutions cupriques de concentration convenable, conidies et zoospores sont frappées de mort. La toxicité du cuivre est telle que  $\frac{2 \text{ à } 3}{10,000,000}$  de ce métal, sous forme de sulfate de cuivre, suffisent à empêcher la germination des conidies. Dans les mêmes conditions, il faudrait  $\frac{1}{100,000}$  de fer sous forme de sulfate et  $\frac{1}{10,000}$  de chaux; c'est dire que les sels de fer, bien qu'ils soient très actifs, le sont près de cent fois moins que ceux de cuivre, et que la chaux l'est dix fois moins que le fer.

Des traces de cuivre dans une eau peuvent donc s'opposer à la multiplication du Mildiou; tel est le cas qui s'est présenté à Millardet au commencement de ses recherches : il ne put réussir à faire germer les conidies dans l'eau de son puits où plongeait une vieille pompe en cuivre. Cette eau contenait en effet 5 milligrammes de ce métal par litre, soit près de vingt fois autant qu'il en faut pour tuer les spores du *Plasmopara viticola*.

L'analyse de cette eau fut l'origine de la collaboration de l'un des signataires de la présente notice aux recherches entreprises plus tard sur le traitement du Mildiou par les composés cupriques.

Les aspersions cuivreuses, employées en Médoc contre les maraudeurs, étaient généralement faites avec un mélange de sulfate de cuivre et de chaux. Cette première *bouillie bordelaise* se préparait avec 8 kilos de sulfate de cuivre et 15 kilos de chaux grasse et se composait, après réaction chimique des corps en présence, d'un mélange d'hydrate d'oxyde de cuivre, de sulfate de chaux et de chaux vive en excès; on en aspergeait les feuilles de la vigne avec un petit balai qui fut, plus tard, avantageusement remplacé par des pulvérisateurs perfectionnés. En se desséchant, les gouttelettes de bouillie laissent un dépôt bleuâtre

qui se carbonate peu à peu au contact de l'air et constitue un véritable réservoir d'oxyde de cuivre. Celui-ci, quand la chaux a perdu toute son alcalinité, se dissout lentement dans l'eau de rosée ou dans l'eau de pluie, à la faveur des traces d'acide carbonique et de carbonate d'ammoniaque que renferment ces eaux, se répand en solution étendue sur la surface des feuilles et empêche de germer les conidies portées par le vent. La plus grande partie du cuivre dissous est absorbée par la cuticule, mais il en pénètre aussi dans l'épaisseur du parenchyme, de telle sorte que les deux faces de la feuille, mais surtout la face supérieure, sont invulnérables au parasite et protégées contre ses invasions.

L'action du cuivre est préventive et durable : l'efficacité d'un traitement à la bouillie se prolonge pendant des semaines, jusqu'à ce que la provision d'oxyde de cuivre soit épuisée par des lavages successifs. La chaux facilite l'adhérence de la bouillie sur les feuilles ; elle agit elle-même comme remède pendant quelque temps par sa causticité, et, quand elle est carbonatée, elle sert à la préservation de la réserve d'oxyde de cuivre. Mais, la chaux étant faiblement toxique, et l'hydrate d'oxyde de cuivre ne se dissolvant dans les eaux météoriques que si elle est tout entière transformée en calcaire, on voit qu'un excès de chaux est nuisible, car il retarde le moment où la bouillie peut produire son maximum d'effet.

L'ancienne bouillie est précisément dans ce cas ; aussi, en abaissant le poids de chaux vive au tiers du poids de sulfate de cuivre employé, a-t-on réalisé des préparations d'une efficacité plus rapide et plus grande. L'expérience a montré que, dans ces conditions, on pouvait diminuer aussi le poids de cuivre tout en conservant le même rapport entre le sulfate et la chaux, et substituer à la formule primitive une bouillie préparée, par exemple, avec 3 kilos de sulfate de cuivre et 1 kilo de chaux pour 100 litres d'eau. La préservation peut même être complète avec 1 kilo seulement de sulfate de cuivre et 340 grammes de chaux par hectolitre.

Les nouvelles formules sont entrées partout dans la pratique ; elles ont permis aux viticulteurs de réaliser une économie considérable sur les frais de traitement des maladies cryptogamiques. Elles avaient d'ailleurs été expérimentées en grand dans les vignobles de Dauzac et de Beaucaillou mis gracieusement par M. Johnston à la disposition de Millardet. Avec la collaboration active et dévouée

de M. David, régisseur du château Dauzac, on essaya, en même temps et par comparaison, les solutions simples de sulfate de cuivre, l'eau céleste, l'ammoniaque, le verdet et différentes poudres cupriques, dont la sulfostéatite. Les bouillies bordelaises à doses réduites se sont toujours montrées d'une efficacité égale et le plus souvent supérieure à celle de tous les autres procédés de traitement.

La faveur dont jouit la bouillie bordelaise en tous pays repose donc sur des expériences nombreuses et concluantes. Mais quelque heureux que soient les effets des traitements cupriques contre le Mildiou, il fallait démontrer que la santé publique ne peut en souffrir. Or, de multiples analyses d'échantillons de raisins, de moûts, de vins et de piquettes, ont démontré que le cuivre ne se retrouve, dans ces divers produits de la vigne, qu'à doses infinitésimales, inférieures à 1 milligramme par kilogramme ou par litre. L'hygiène la plus sévère n'a donc rien à redouter. D'ailleurs, le vin ne saurait contenir une plus forte proportion de cuivre, car, s'il en existait en dissolution dans le moût, il se précipiterait dans les lies à l'état insoluble pendant la fermentation.

Les traitements cupriques, si actifs contre le *Plasmopara viticola*, s'appliquent avec le même succès contre le *Phytophthora infestans* qui vit sur la pomme de terre et sur la tomate. On sait d'ailleurs que ces deux Champignons sont voisins dans la classification, puisqu'on les réunissait autrefois dans le genre *Peronospora*, aujourd'hui démembré. Mais, ici, en raison de la nature spéciale des feuilles et de leurs mouvements continuels, Millardet préfère à la bouillie bordelaise la sulfostéatite, dont la finesse et la légèreté permettent d'atteindre plus aisément toutes les parties de la plante.

Millardet a étudié aussi deux autres maladies cryptogamiques de la vigne : l'Anthracnose ou Anthracose et le Pourridié.

Contre l'Anthracnose, il a préconisé la bouillie bordelaise et le procédé Schnorf, qui consiste dans le badigeonnage des souches et du bois de taille avec une solution de sulfate de fer à 50 0/0. Pour le Pourridié, il s'est attaché à décrire le *Rhizomorpha*, cause de cette maladie, et à différencier les altérations qu'il produit sur les racines de la vigne de celles qu'y détermine le Phylloxéra.

Par ses recherches de botanique appliquée, Millardet a, par deux fois, contribué à sauver nos vignobles ; c'est un bienfaiteur de la viticulture qui a droit à la reconnaissance de la Science et de la Patrie.

## NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

- 
1862. — 1. Algues de l'île de la Réunion. En collaboration avec C. Montagne (*C. R.*, 20 octobre 1862. *Notes sur l'île de la Réunion*, par L. Maillard, Paris, 1862).
1865. — 2. Sur l'anatomie et le développement du corps ligneux dans les genres *Yucca* et *Dracæna* (*Mémoires de la Société des Sciences naturelles de Cherbourg*, XI, 1865).
1866. — 3. Notice pour servir à l'Histoire du développement en épaisseur des membranes cellulaires (*Annales des Sciences naturelles*, VI, 1866).
4. Sur une plante Cryptogame nouvelle, *Hyphodictyon lichénoides* (*Actes de la Société helvétique des Sciences naturelles*, 1866).
1868. — 5. Sur le pigment des Phycchromacées et des Diatomées. En collaboration avec M. G. Kraus (*Comptes rendus*, 7 mars 1868).
6. Analyse du travail de M. G. Kraus : Die Gewebespannung des Stammes (*Bulletin de la Société des Sciences naturelles de Strasbourg*, séance du 2 décembre 1868; — *A. S. N.*, X, 1868).
7. Des genres *Atichia*, *Myriangium*, *Naetrocymbe*, Mémoire pour servir à l'histoire des Collémacées (*Mémoires de la Société des Sciences naturelles de Strasbourg*, VI, 1868).
8. Études sur la matière colorante des Phycchromacées et des Diatomées. En collaboration avec M. G. Kraus (*M. S. Sc. N. S.*, VI, 1868).
9. De la germination des Zygosporées dans les genres *Closterium* et *Staurostrum* et sur un genre nouveau (*Phycopeltis*) d'Algues chlorosporées (*M. S. Sc. N. S.*, VI, 1868).



1869. — 10. Sur la nature du pigment des Fucoïdées (*C. R.*, 22 février 1869).
11. Le prothallium mâle des Cryptogames vasculaires. Thèse pour le doctorat ès sciences naturelles, soutenue à Strasbourg. Strasbourg, 1869.
12. Nouvelles recherches sur la périodicité de la tension. Étude sur les mouvements périodiques et paratoniques de la Sensitive. Thèse de Doctorat en médecine, soutenue à Strasbourg le 19 avril 1869 (*M. S. Sc. N. S.*, VI. 1869).
1872. — 13. La Botanique; son objet; son importance (*Revue des Sciences naturelles de Montpellier*, 1872. Leçon d'ouverture faite à la Faculté des Sciences de Nancy).
1873. — 14. De la maladie des Pommes de terre causée par le parasitisme du *Peronospora infestans* (*Journal d'agriculture pratique*, 3 et 31 juillet 1873).
15. Observations relatives à une communication de M. Chautard sur les bandes d'absorption de la chlorophylle (*C. R.*, 13 janvier 1873).
1874. — 16. Analyse de quelques travaux étrangers intéressant l'agriculture et la physiologie végétale. *Peronospora Betae*, *Ustilago*, *Tilletia*, *Urocystis occulta*, fermentations alcooliques (*J. A. P.*, 1<sup>er</sup> janvier 1874).
17. Études sur les Vignes d'origine américaine qui résistent au Phylloxéra (*C. R.*, 30 novembre 1874. *Mémoires des Savants étrangers*, XXII, 1876). Le Mémoire est daté du 14 novembre 1874.
1876. — 18. Mémoire sur les Vignes américaines qui résistent au Phylloxéra (*C. R.*, 31 juillet 1876).
19. Sur une substance colorante nouvelle (*Solanorubine*), découverte dans la Tomate. Une brochure in-8°, Nancy, 1876.
1877. — 20. De la résistance au Phylloxéra de quelques Vignes d'origine américaine (*P.-V. S. Sc. P. N. B.*, 8 mars 1877. *J. A. P.*, 2, 9, 16, 30 août et 29 novembre 1877).
21. Observations au sujet d'une communication de M. Fabre (*C. R.*, 12 novembre 1877).
22. De quelques Synonymies. Importance de la question de

l'hérédité dans les Vignes américaines (*La Vigne américaine*, novembre 1877).

1877. — 23. Sur les Vignes américaines. Résistance du *Vitis riparia* (*J. A. P.*, 29 novembre 1877).

24. La question des Vignes américaines au point de vue théorique et pratique. Une brochure in-8°. Bordeaux, 1877.

1878. — 25. Résistance au Phylloxéra du *V. riparia* (*J. A. P.*, 21 février 1878).

26. Rapport sur les travaux botaniques de M. F. Ardissonne et de M. Ernst (*P.-V. S. Sc. P. N. B.*, 21 mars 1878).

27. A propos du *Vitis Solonis* (*V. A.*, avril 1878).

28. Quelques observations sur les Semis (la *Vigne américaine*, mai 1878).

29. Théorie nouvelle des altérations que le Phylloxéra détermine sur les racines de la Vigne européenne (*C. R.*, 29 juillet et 19 août 1878; — *P.-V. S. Sc. P. N. B.*, 11 juillet 1878 II<sub>2</sub>, 1878; — *J. A. P.*, 8, 22 et 29 août 1878).

30. Cordifolia ou Riparia (*V. A.*, octobre 1878).

31. De la reconstitution de nos vignobles à l'aide de graines de Vignes sauvages d'Amérique (*C. R.*, 18 novembre 1878).

32. Résistance au Phylloxéra de quelques types de Vignes américaines sauvages (*C. R.*, 11 novembre 1878; — *J. A. P.*, 28 novembre 1878; — *P.-V. S. Sc. P. N. B.*, 28 novembre 1878, III<sub>2</sub>, 1880).

33. Appauvrissement du sol par le sulfocarbonate de potassium (*J. A. P.*, 26 décembre 1878).

1879. — 34. Études sur quelques espèces de Vignes sauvages de l'Amérique du Nord (*M. S. Sc. P. N. B.*, III<sub>2</sub>, 1879). Une brochure in-8°, Bordeaux, 1879.

35. Propriétés essentielles des principales espèces de Vignes américaines qui résistent au Phylloxéra (*J. A. P.*, 2 janvier 1879).

36. De la multiplication des Vignes sauvages par les Semis (*J. A. P.*, 13 février 1879; — *P.-V. S. Sc. P. N. B.*, 1<sup>er</sup> mai 1879, III<sub>2</sub>, 1880).

1879. — 37. Instructions pour les semis de Vignes (*J. A. P.*, 15 mai 1879).
38. Sur les matières sucrées des Vignes phylloxérées et pourridiées. En collaboration avec M. U. Gayon (*C. R.*, 4 août 1879; — *P.-V. S. Sc. P. N. B.*, 24 juillet 1879, III<sub>2</sub>, 1880).
39. Le Pourridié de la Vigne (*C. R.*, 11 août 1879; — *P.-V. S. Sc. P. N. B.*, 24 juillet 1879, III<sub>2</sub>, 1880; — *V. A.*, octobre 1879).
40. Sur la pourriture des raisins de Vignes phylloxérées (*P.-V. S. Sc. P. N. B.*, 13 novembre 1879).
1880. — 41. La Résistance au Phylloxéra du *Clinton* et du *Taylor* (*J. A. P.*, 1<sup>er</sup>, 8 et 29 janvier 1880).
42. Le Phylloxéra dans la Gironde (*J. A. P.*, 19 février 1880).
43. Notes sur les Vignes américaines (*J. A. P.*, 18 mars 1880).
44. Le vœu du Comité central de la Gironde (*J. A. P.*, 25 mars 1880).
45. Les Vignes américaines de semis (*J. A. P.*, 8 avril 1880).
46. Graines de Vignes américaines (*J. A. P.*, 12 août 1880).
47. Phylloxéra et Pourridié (*J. A. P.*, 10, 17, 24 juin et 1<sup>er</sup> juillet 1880, *M. S. Sc. P. N. B.*, IV<sub>2</sub>, 1882). Une brochure in-8°, Bordeaux 1882.
48. Sur la maladie de la Vigne appelée Mildew (*P.-V. S. Sc. P. N. B.*, 9 décembre 1880, IV<sub>2</sub>, 1882).
49. Bibliographie (*J. A. P.*, 12 décembre 1880).
1881. — 50. A propos de la résistance du *Clinton* (*J. A. P.*, 6 janvier 1881).
51. Notes sur les Vignes américaines (*J. A. P.*, 20 janvier, 3 février, 24 mars, 21 avril, 2 juin, 21 juillet, 4 et 11 août 1881).
52. Le Mildew (*Peronospora viticola*) (*J. A. P.*, 10 février 1881).
53. *Monticola* ou *Berlandieri* (*J. A. P.*, 31 mars 1881).
54. Une maladie non encore décrite des feuilles de Vigne, maladie voisine de celle dite Coup de Soleil ou Échau-dage (*P.-V. S. Sc. P. N. B.*, 2 juin 1881, IV<sub>2</sub>, 1882).
55. Notes sur les Vignes américaines et opuscules divers sur le même sujet. Une brochure in-8°, Bordeaux, 1881.

1882. — 56. L'invasion vernale du Mildew (*J. A. P.*, 6 juillet 1882).  
57. De l'Hybridation entre les diverses espèces de Vignes à l'état sauvage (*J. A. P.*, 20 juillet et 5 octobre 1882).  
58. Le Mildew dans le Sud-Ouest en 1882 (*J. A. P.*, 24 août 1882).  
59. Essai sur le Mildew. Communication au Congrès phylloxérique de Bordeaux en 1882 (*C. R. du Congrès*, p. 37). Une brochure in-8°, Bordeaux, 1882.  
60. Observations sur le rôle des spores d'hiver ou *Oospores* dans la réinvasion vernale du Mildiou (*P.-V. S. Sc. P. N. B.*, 1<sup>er</sup> juin 1882).  
61. Pourridié et Phylloxéra. Étude comparative de ces deux maladies de la Vigne. Une brochure in-8°. Bordeaux, 1882.
1883. — 62. Mildiou et Rot (*Zeitschrift für Wein. Obst. und Gartenbau für Elsass-Lothringen*, 1<sup>er</sup> et 15 mars 1883).  
63. Quelques essais sur le traitement de l'Anthracose, de l'Oïdium et du Mildiou (*J. A. P.*, 19 avril 1883).
1884. — 64. Note sur le chancre du Pommier et du Poirier (*P.-V. S. Sc. P. N. B.*, 26 janvier 1884, *M. S. Sc. P. N. B.*, II, 1885).  
65. Une nouvelle espèce de Vigne des États-Unis (*J. A. P.*, 6 mars 1884).  
66. Les nodosités du *Riparia* (*Journal des Viticulteurs*, 5 avril 1884).  
67. La question de M. Lafitte (*J. A. P.*, 11 novembre 1884).  
68. De la reconstitution des vignobles par les Vignes américaines. Une brochure in-8°, Bordeaux, 1884.  
69. Nouvelles recherches sur le Pourridié de la Vigne (*P.-V. S. Sc. P. N. B.*, 27 novembre 1884, II, 1886; — *Revue mycologique*, janvier 1885). Une brochure in-8°, Bordeaux, 1885.
1885. — 70. Note sur le greffage des Vignes américaines (*P.-V. S. Sc. P. N. B.*, 21 avril 1885, II, 1886).  
71. Traitement du Mildiou par le mélange de sulfate de cuivre et de chaux. Communication faite le 1<sup>er</sup> avril 1885 à la Société d'Agriculture de la Gironde (*A. S. A. G.*, 1885; — *Journal d'Agriculture et d'Horticulture de la Gironde*, 1<sup>er</sup> mai 1885).

1885. — 72. Traitement du Mildiou et du Rot (*C. R.*, 5 octobre 1885; — *J. A. P.*, 8 octobre 1885; — *P.-V. S. Sc. P. N. B.*, 3 décembre 1885; II<sub>3</sub>, 1886).
73. Effets du Mildiou sur la Vigne. Influence d'un traitement efficace. En collaboration avec M. Gayon (*C. R.*, 12 octobre 1885; — *J. A. P.*, 29 octobre 1885).
74. Lettres de revendication à propos du traitement du Mildiou (*Feuille Vinicole de la Gironde*, 29 octobre, 12 novembre et 3 décembre 1885).
75. Action du mélange de sulfate de cuivre et de chaux sur le Mildiou. En collaboration avec M. Gayon (*C. R.*, 9 novembre 1885; — *J. A. P.*, 12 novembre 1885).
76. Recherche du cuivre sur les Vignes traitées par le mélange de chaux et de sulfate de cuivre, et dans la récolte. En collaboration avec M. Gayon (*C. R.*, 16 novembre 1885; — *J. A. P.*, 19 novembre 1885).
77. Note sur l'Histoire du traitement du Mildiou par le sulfate de cuivre (*J. A. P.*, 3 décembre 1885).
78. Herbemont-Touzan (*Progrès Agricole et Viticole*, 6 décembre 1885; — *La Vigne française*, 15 mai 1886).
79. Histoire des principales variétés et espèces de Vignes d'origine américaine qui résistent au Phylloxéra. Un volume in-f°. Bordeaux, 1885.
1886. — 80. Un appareil pratique pour le traitement du Mildiou (*J. A. P.*, 1<sup>er</sup> avril 1886).
81. L'hydrogène sulfuré dans le vin et le cuivre dans les piquettes. En collaboration avec M. Gayon (*J. A. P.*, 21 octobre 1886).
82. Le cuivre dans la récolte des Vignes soumises à divers procédés de traitement du Mildiou par des composés cuivreux. En collaboration avec M. Gayon (*C. R.*, 21 octobre 1886).
83. Le cuivre dans les seconds vins et dans les piquettes acides. En collaboration avec M. Gayon (*J. A. P.*, 28 octobre 1886).
84. Observations nouvelles sur le développement et le traitement du Mildiou. En collaboration avec M. E. David (*J. A. P.*, 4 novembre 1886).

1886. — 85. Résultats de divers procédés de traitement du Mildiou. En collaboration avec M. E. David (*J. A. P.*, 25 novembre, 9 et 16 décembre 1886).
86. Traitement du Mildiou et du Rot par le mélange de chaux et de sulfate de cuivre. Une brochure in-8°. Bordeaux, 1886.
87. Instruction pratique pour le traitement du Mildiou et du Rot par le mélange de chaux et de sulfate de cuivre. Une brochure in-8°. Bordeaux, 1886; 2<sup>e</sup> édition, 1887; 3<sup>e</sup> édition, 1889; 4<sup>e</sup> édition, 1890; 5<sup>e</sup> édition, 1893.
1887. — 88. Le Jacquez porte-greffe (*J. A. P.*, 6 janvier 1887).
89. Sur le traitement du Mildiou par la bouillie bordelaise. En collaboration avec M. Gayon (*P.-V. S. Sc. P. N. B.*, 20 janvier 1887).
90. Recherches nouvelles sur l'action que les composés cuivreux exercent sur le développement du *Peronospora* de la Vigne. En collaboration avec M. Gayon (*C. R.*, 7 février 1887; — *J. A. P.*, 27 janvier et 3 février 1887; *P.-V. S. Sc. P. N. B.*, 3 mars 1887).
91. Nouvelles formules de la bouillie bordelaise. En collaboration avec M. Gayon (*P.-V. S. Sc. P. N. B.*, 28 avril 1887).
92. Les divers procédés de traitement du Mildiou par les composés cuivreux. En collaboration avec M. Gayon (*J. A. P.*, 19 et 26 mai, 2 juin 1887; — *P.-V. S. Sc. P. N. B.*, 26 mai 1887).
93. Traitement de la Maladie des Tomates et de celle des Pommes de terre (*J. A. P.*, 9 juin 1887).
94. Notes sur les Vignes américaines (*J. A. P.*, 24 novembre, 1, 8, 15 et 29 décembre 1887, 5 janvier 1888).
95. Coup d'œil général sur la reconstitution des vignobles dans le midi de la France (*J. A. P.*, 15 décembre 1887). Études sur quelques porte-greffes nouveaux ou peu connus (*J. A. P.*, 15 décembre 1887).
96. Notice sur divers procédés de traitement préventif de l'anthracose. En collaboration avec MM. E. Petit et P. Garros (*C. R. du Congrès national viticole de Bordeaux*, 1887).

1887. — 97. Nouvelles recherches sur le développement et le traitement du Mildiou et de l'Anthracose. Une brochure in-8°. Bordeaux, 1887.
- Cette brochure renferme les communications faites au Congrès national viticole tenu à Bordeaux en septembre 1887.
98. Recherches sur les divers procédés de traitement du Mildiou par les composés cuivreux. En collaboration avec M. Gayon. Une brochure in-8°. Bordeaux, 1887.
99. Considérations raisonnées sur les divers procédés de traitement du Mildiou par les composés cuivreux. En collaboration avec M. Gayon. Une brochure in-8°. Bordeaux, 1887.
100. Notes sur les Vignes américaines. Série II. Une brochure in-8°. Bordeaux, 1887.
1888. — 101. Le Phylloxéra et les parasites végétaux vaincus par l'Hybridation (*J. A. P.*, 5 janvier 1888).
102. Note sur le chancre du Pommier et du Poirier (*J. A. P.*, 1<sup>er</sup> mars 1888).
103. Les nouvelles formules de la bouillie bordelaise. En collaboration avec M. Gayon (*J. A. P.*, 3, 10 et 17 mai 1888). Une brochure in-8°. Bordeaux, 1888.
104. Les maladies cryptogamiques des céréales d'après O. Brefeld (*J. A. P.*, 22 novembre 1888).
105. Notes sur les Vignes américaines. Série III. Une brochure in-8°. Bordeaux, 1888.
1889. — 106. Revendication au sujet de l'Hybridation de la Vigne (*Vignerons Narbonnais*, 12 janvier 1889).
107. A propos de porte-greffes hybrides (*Journal des Viticulteurs et Agriculteurs du Midi*, Toulouse, 5 mars 1889).
108. Traitement de la maladie des Tomates et de la maladie des Pommes de terre (*J. A. P.*, 16 mai 1889).
109. Note sur les principaux résultats de l'Hybridation des Vignes. Communication faite au Congrès international d'Agriculture de Paris (*J. A. P.*, 8 août 1889).
1890. — 110. La bouillie bordelaise céleste. En collaboration avec M. Gayon (*J. A. P.*, 20 janvier 1890; *P. V. S. Sc. P. N. B.*, 23 janvier 1890).

1890. — 111. Sur un nouveau danger pour la viticulture (*J. A. P.*, 17 juillet 1890).
1891. — 112. Nouvelles recherches sur la résistance et l'immunité phylloxériques : Échelle de résistance (*J. A. P.*, 3 et 10 décembre 1891).
113. Notice sur quelques porte-greffes franco-américains résistant à la Chlorose et au Phylloxéra (*J. A. P.*, 17 décembre 1891).
114. Essai sur l'Hybridation de la Vigne (*M. S. Sc. P. N. B.*, II, 1891). Une brochure in-8°. Bordeaux, 1891.
1892. — 115. Nouvelles observations sur l'efficacité de diverses bouillies dans le traitement du Mildiou. Sulfostéatite. En collaboration avec M. Gayon (*J. A. P.*, 18 février 1892).
116. Les gelées printanières de la Vigne : moyens de les prévenir et d'y remédier (*J. A. P.*, 8 septembre 1892).
1894. — 117. Sur les résultats généraux de l'Hybridation de la Vigne (*R. V.*, 6, 13 et 20 janvier 1894).
118. A propos du *Jacquez* porte-greffe (*R. V.*, 10 février 1894).
119. Catalogue des Hybrides produits de 1880 à 1892 (*C. R.*, 7 et 21 avril 1894).
120. Sur l'Histoire du traitement du Mildiou (*R. V.*, 28 avril 1894).
121. A propos de la réserve de cuivre dans les diverses sortes de bouillies. En collaboration avec M. Gayon (*R. V.*, 7 juillet 1894).
122. Importance de l'Hybridation pour la reconstitution des vignobles (*C. R.*, 24 décembre 1894; — *J. A. P.*, 6 décembre 1894).
123. Un porte-greffe pour les terrains crayeux et marneux les plus chlorosants. En collaboration avec M. de Grasset (*R. V.*, 1<sup>er</sup> et 8 décembre 1894). Une brochure in-8°. Bordeaux, 1894.
124. Note sur l'Hybridation sans croisement ou fausse-Hybridation (*M. S. Sc. P. N. B.*, IV, 1894). Une brochure in-8°. Bordeaux, 1894.
1896. — 125. Deux porte-greffes pour terrains calcaires; hybrides 101



- (*Riparia* × *Rupestris*) n<sup>os</sup> 14 et 16. En collaboration avec M. de Grasset (*R. V.*, 29 février et 7 mars 1896).
1896. — 126. A propos du Chasselas × *Berlandieri* n<sup>o</sup> 41 (*R. V.*, 14 mars 1896).
127. Quelques réflexions sur le traitement du Mildiou, du Black-Rot et du *Botrytis cinerea* (*R. V.*, 11 avril 1896).
128. A propos des premiers traitements du Mildiou (*R. V.*, 2 mai 1896).
129. Traitements préventifs du Mildiou (*R. V.*, 16 mai 1896).
1897. — 130. Américains ou franco-américains (*R. V.*, 4 décembre 1897).
1898. — 131. Américains ou franco-américains (*R. V.*, 1<sup>er</sup> et 15 janvier 1898).
132. Un porte-greffe pour les terres de groie, *Riparia* ou Colorado  $\epsilon$ . En collaboration avec M. de Grasset, (*R. V.* 5 mars 1898).
133. Étude des altérations produites par le Phylloxéra sur les racines de la Vigne. Une brochure in-8<sup>o</sup> avec 5 pl. (*Actes de la Société Linnéenne de Bordeaux*, 1898). Une brochure in-8<sup>o</sup>. Bordeaux, 1898.
1899. — 134. Notice sur le marquis Ch. de Grasset (*R. V.*, 15 janvier 1899).
135. Un porte-greffe pour les terres argileuses, argilo-siliceuses et argilo-calcaires, *Riparia* × *Cordifolia-Rupestris* n<sup>o</sup> 106-8 (*R. V.*, 18 mars 1899).
136. La résistance phylloxérique du 41 B (*R. V.*, 20 mai 1899).
137. Un porte-greffe pour les terrains calcaires et argilo-calcaires, *Berlandieri* × *Riparia* n<sup>o</sup> 420-A ou 420-41-20 (*R. V.*, 5 août 1899).
1900. — 138. Un porte-greffe pour les sols les plus secs et superficiels et pour les terrains calcaires, marneux et même crayeux, *Rupestris* × *Berlandieri* n<sup>o</sup> 219 (*R. V.*, 14 avril 1900).
1901. — 139. Un porte-greffe pour les terres sèches, compactes et pauvres, moyennement calcaires ou non calcaires, Cabernet × *Rupestris* Ganzin, n<sup>o</sup> 33 A' (*R. V.*, 5 janvier 1901).

1901. — 140. Deux nouveaux porte-greffes pour les sols les plus secs et superficiels et pour les terrains calcaires, argilo-calcaires, marneux et même crayeux; Rupestris  $\times$  Berlandieri n<sup>os</sup> 301 A' et 301 B (*R. V.*, 6 et 13 juillet 1901).
141. La fausse hybridation chez les Ampélidées (*R. V.*, 21 décembre 1901).

## PRINCIPALES ABRÉVIATIONS DE L'INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

*A. S. N.* — Annales des Sciences Naturelles; Botanique.

*C. R.* — Comptes Rendus de l'Académie des Sciences.

*J. A. P.* — Journal d'Agriculture pratique.

*M. S. Sc. P. N. B.* — Mémoires de la Société des Sciences Physiques et Naturelles de Bordeaux.

*M. S. Sc. N. S.* — Mémoires de la Société des Sciences Naturelles de Strasbourg.

*P.-V. S. Sc. P. N. B.* — Procès-verbaux de la Société des Sciences Physiques et Naturelles de Bordeaux.

*R. V.* — Revue de Viticulture.

*V. A.* — La Vigne américaine.



# DE L'ATTRACTION

EXERCÉE PAR

## LES COULEURS ET LES ODEURS SUR LES INSECTES

Par M. J. PÉREZ

PROFESSEUR DE ZOOLOGIE ET PHYSIOLOGIE ANIMALE A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE BORDEAUX

(2<sup>e</sup> MÉMOIRE)

J'ai publié dans les Actes de la *Société Linnéenne de Bordeaux* (t. XLVII, 1894) quelques observations et expériences sur la question qui sert de titre à ce travail. J'ai fait voir que, contrairement à l'opinion des botanistes <sup>(1)</sup>, les couleurs ne sont pas la seule cause d'attraction des fleurs pour les Insectes; les parfums, pour une grande part contribuent à les attirer; et j'ai montré, je crois, dans quelle mesure, suivant les circonstances, l'une ou l'autre de ces causes intervient.

Félix Plateau <sup>(2)</sup> peu après, par un grand nombre d'expériences, réfutait de son côté, et sans avoir eu connaissance de ma Note, l'opinion qui attribue à la couleur seule l'attraction des fleurs sur les Insectes. Mais, trop absolu dans le sens opposé, l'habile expérimentateur conclut à la non-intervention de la vision des couleurs et attribue tout uniquement à la perception des odeurs.

A la vérité, dans ses derniers écrits, Plateau parle, en plus d'un passage, de la vision des couleurs par les Insectes; il se défend même de l'avoir niée <sup>(3)</sup>, bien qu'il l'entende d'une façon spéciale. Il va plus loin : « J'admets parfaitement, dit-il, que l'Insecte puisse s'apercevoir à distance de l'existence de fleurs, soit parce qu'il voit les couleurs de

<sup>(1)</sup> Il est juste de noter cependant que plus d'un naturaliste distingué, Delpino, H. Müller, Nägeli, Errera, pour n'en pas citer d'autres, ont parfaitement reconnu que le parfum des fleurs attire les Insectes.

<sup>(2)</sup> F. PLATEAU, *Comment les fleurs attirent les Insectes. — Recherches expérimentales* (Bull. Acad. roy. des Sc. de Belgique, 3<sup>e</sup> série, t. XXX-XXXIII, 1895-97).

<sup>(3)</sup> F. Plateau, *Nouv. rech. sur les rapports entre les fleurs et les Insectes*, 2<sup>e</sup> partie (Soc. Zool. de France, t. XLIII, 1899), p. 368.

la même manière que nous, soit parce qu'il perçoit un contraste quelconque entre ces fleurs et leur entourage; j'admets que, concurremment avec l'odorat, quoique à un bien moindre degré, cette perception visuelle vague puisse diriger l'animal vers l'ensemble de la masse florale... (1). »

Mais tel est justement le fond du débat sur la question de l'attraction exercée par les fleurs sur les Insectes, et telle était, à très peu près, l'opinion que j'exprimais moi-même, dans le travail cité plus haut, et dont F. Plateau a précisément critiqué les données qui montraient d'une manière évidente, selon moi, le rôle attractif de la couleur. Mais Plateau, alors, admettait sans restriction une autre solution. Il semble l'avoir oublié, aujourd'hui, car tout opposées étaient les conclusions de son premier mémoire, où il est dit :

« Ni la forme ni les couleurs vives des capitules (*Dahlia*) ne semblent avoir d'action attractive. »

Et encore :

« La forme et la couleur ne paraissent pas avoir de rôle attractif; les Insectes sont évidemment guidés vers les capitules des Composées par un autre sens que la vue, sens qui est probablement l'odorat (2). »

Ainsi, la vue, qui jadis ne guidait pas, aujourd'hui pourrait guider; l'odorat, qui seul paraissait pouvoir attirer, combinerait maintenant ses attractions avec celles d'un autre sens. Telle a toujours été ma manière de voir et je ne pourrais que me réjouir de voir Plateau y être venu, s'il y insistait davantage. Une modification si frappante des idées de l'auteur valait peut-être la peine d'être mise au jour autrement qu'en une simple note à la fin d'un mémoire, comme « une dernière remarque destinée, dit-il, à empêcher qu'on travestisse ma pensée ». Si travestissement il y a, l'auteur en serait le premier coupable.

Aussi, pour contradictoires que les affirmations récentes de Plateau soient de celles qui les ont précédées, celles-ci n'en subsistent pas moins. L'auteur ne les désavoue point, et une simple note jetée en passant pour ainsi dire, ne suffit pas pour rayer, comme d'un trait de plume, ce qu'un grand nombre d'expériences avait pour but d'établir. On n'est donc point dispensé de les discuter, d'autant plus que tou-

(1) F. PLATEAU, *Nouv. rech. sur les rapports entre les fleurs et les Insectes*, 2<sup>e</sup> partie (Soc. zool. de France, t. XLIII, 1899, p. 370).

(2) F. PLATEAU, *Comment les fleurs attirent les Insectes*, 1<sup>er</sup> Mémoire (Bull. Acad. roy. des Sc. de Belgique, t. XXX, 1895).

jours, dans les idées de Plateau, l'odorat continue, malgré tout, à remplir un rôle à peu près exclusif, et que celui de la couleur me semble amoindri par lui outre mesure. On verra, en effet, dans la discussion que nous aurons à faire, à la suite de ce travail, d'un mémoire récent de Plateau sur les « Erreurs » (1) commises par les Insectes, que l'auteur, ne songeant plus à la réserve exprimée dans la susdite remarque, semble plus que jamais fidèle à sa thèse favorite de la non-intervention de la couleur.

Les faits signalés dans ma Note de 1894 suffisaient, à mon sens, pour montrer le rôle respectif de la vue et de l'odorat dans les rapports des Insectes et des fleurs. Je ne me suis pas cependant désintéressé, depuis, de la question, et je n'ai cessé de recueillir toutes les observations où l'intervention de la vue me paraissait évidente. C'est par centaines qu'elles se sont offertes à moi spontanément, et j'en ai provoqué expérimentalement un certain nombre. Le présent travail a pour objet de faire connaître les unes et les autres.

Mais avant de les exposer, je crois utile de dire un mot, pour n'avoir pas à y revenir, d'une question préjudicielle. Il s'agit de savoir, ni plus ni moins, ce que l'on veut dire quand on parle de la vision des *couleurs* chez les Insectes. Ces animaux distinguent-ils réellement les couleurs et les voient-ils comme nous les voyons?

Graber (2), dont F. Plateau accepte la manière de voir, a déduit de diverses expériences qu'on ne saurait affirmer que les animaux Invertébrés voient les couleurs comme nous les voyons; tout ce qu'on peut dire, selon lui, c'est qu'ils apprécient les différences de réfrangibilité des rayons lumineux. Comme F. Plateau revient sur cette donnée à plusieurs reprises dans ses divers mémoires, qu'il en tire argument pour déclarer « illusoires » les résultats des expériences de beaucoup de ses prédécesseurs, elle ne peut nous rester indifférente.

Les animaux Invertébrés, dit Graber, apprécient les différences de réfrangibilité des rayons lumineux. Cette proposition revient évidemment à celle-ci, que ces animaux partagent avec nous la faculté d'être différemment impressionnés par la lumière des différentes régions du spectre. L'animal Articulé, pour nous restreindre au sujet

(1) Voir Appendice, Note B.

(2) GRABER, *Grundlinien zur Erforschung des Helligkeits und Farbensinnes der Thiere*, 1884.

de nos études, nous est donc comparable en ce sens, qu'à des lumières différentes correspondent, chez lui comme chez nous, des sensations distinctes. Que ces sensations, chez l'Arthropode, soient ou non identiques aux nôtres, il n'en possède pas moins, comme nous-mêmes, son échelle de sensations lumineuses. Pour tant qu'on admette que ces échelles diffèrent l'une de l'autre, elles n'en sont pas moins parallèles, c'est-à-dire que la sensation qui pour nous est le *bleu*, par exemple, et qui est distincte de toutes les autres dans la série humaine, l'est également dans la série propre à l'animal Articulé. Les deux échelles sont donc comparables, les degrés de l'une correspondent aux degrés de l'autre, que les degrés correspondants soient ou non identiques.

Et, si l'on veut bien ne pas oublier que les propriétés générales du système nerveux sont fondamentalement les mêmes dans la série animale, que l'Arthropode, comme le Vertébré, connaît en particulier le plaisir et la douleur, qu'importe, au fond, que la douleur *articulée* — qu'on me passe l'expression — ne soit pas identique à la douleur *vertébrée*; elle est toujours la douleur. Peu importe pareillement que les rayons que nous disons bleus ne soient pas précisément bleus pour l'Insecte. Nous pouvons, en bonne logique, les tenir pour tels. Quand il ne s'agit que de notre espèce, nous raisonnons constamment comme si des actions identiques déterminaient toujours des réactions identiques. On sait bien qu'au fond il n'en est rien, que d'un individu à l'autre les sensations diffèrent, pour infinitésimales que soient les différences, et ainsi en est-il de toutes les propriétés biologiques. Eh bien, admettons, si l'on veut, que notre *bleu* ne soit pas celui de l'Insecte; il est infiniment probable que leur différence n'est pas telle qu'on ne puisse, malgré Graber et Plateau, parler des couleurs perçues par les Insectes, sans être pour cela répréhensible au point de vue strictement scientifique. Prétendre en tout cas, comme le fait ce dernier, que nos couleurs puissent se réduire pour l'Insecte à de simples différences d'éclat, de *luminosité*, c'est bien plus encore sortir des données expérimentales et risquer une hypothèse absolument gratuite.

F. Plateau va plus loin. « Non seulement, dit-il, l'emploi des papiers ou des étoffes colorés ne peut rien nous apprendre quant à la perception des couleurs par les Invertébrés, mais *aucun des résultats obtenus par ces procédés n'est applicable aux façons de se comporter des Insectes vis-à-vis des couleurs des fleurs*. Les parties colorées des

végétaux réfléchissent la lumière autrement que les papiers ou les étoffes et, si elles sont transparentes, laissent passer ou arrêtent d'autres rayons lumineux (1). »

Tout en admettant avec l'auteur ces différences physiques, nous nous n'en concluons pas l'inanité des expériences faites avec les objets colorés. C'est une notion acquise que l'imperfection de la vue chez les animaux qui nous occupent. Eh bien, ces êtres à la vue courte et imprécise, qu'on nous dit en outre tout aussi mal dotés pour la vision des couleurs, ils auraient cependant la faculté de discerner des différences que seules ont pu révéler de délicates expériences de physique ! Si l'on a fréquemment constaté le peu d'attrait qu'ont souvent pour les Insectes les objets artificiels comparés aux fleurs, on aurait tort d'attribuer ce dédain à une délicatesse spéciale de la vision, que par ailleurs on sait être si défectueuse. Mis en présence de fleurs et de chiffons colorés, la préférence marquée qu'ils manifestent pour les premières est due au pollen et au miel qui les accompagnent d'ordinaire et non à la qualité de la lumière qu'elles émettent. Il est surabondamment démontré que les objets colorés, s'ils sont garnis de miel, attirent les insectes tout autant que les fleurs, et, par contre, des fleurs sans nectar sont pour eux sans attrait. L'expérimentation fondée sur l'emploi d'objets colorés est donc de tous points légitime, et la proscrire serait plus qu'un excès de scrupule scientifique.

D'ailleurs, en ce qui me concerne particulièrement, le but que je me suis proposé dans cette étude n'était pas de me renseigner sur la nature intime des sensations des Insectes, mais uniquement de rechercher quel est, dans les rapports de ces petits êtres avec les fleurs, le rôle respectif de la vue et de l'odorat. C'est dans cette direction précise qu'ont été faites les observations et les expériences que je vais faire connaître.

Comme, dans les faits que j'ai notés, les analogies sont fréquentes et même les répétitions, je bornerai mon compte rendu à un petit nombre d'exemples, choisis parmi les plus caractéristiques.

Je donnerai en premier lieu les observations faites sur les Insectes dans les conditions normales de leur activité ; je rapporterai ensuite les expériences où ces conditions étaient plus ou moins modifiées.

(1) *Nouvelles rech. sur les rapports entre les Insectes et les Fleurs* (Mém. de la Soc. zoologique de France, t. XII, 1899, p. 340).



## Observations faites sur les Insectes visitant les fleurs naturelles.

1. — Des abeilles, nombreuses, butinent activement sur des trèfles blancs; elles passent d'une inflorescence à l'autre avec entrain, et tombent ainsi fréquemment sur une inflorescence défraîchie, qu'elles abandonnent aussitôt, à peine effleurée, parfois même sans l'atteindre, souvent après l'avoir explorée un instant et y avoir vainement cherché un fleuron contenant du nectar. — Évidemment la couleur les avait trompées, et ce n'était pas un parfum qui avait pu les attirer. Et d'autre part, si la coloration seule intervenait, l'abeille devrait toujours aborder et ne jamais fuir sans y toucher une fleur dont l'éclat l'a sollicitée, lors même que celle-ci n'a rien à lui offrir.

2. — Une abeille exploite des fleurs de plantain. Étourdiement elle se jette sur une inflorescence de trèfle blanc qu'elle fuit aussitôt. On sait que la butineuse, sauf de bien rares exceptions, reste fidèle à l'espèce de plante qu'elle a déjà visitée (1).

3. — Un *Bombus terrestris* butine sur un *Pentstemon*, auquel je le vois revenir à plusieurs reprises dans la journée. Le plus souvent il entre dans les corolles et y stationne assez longuement. Mais il est des fleurs où il se refuse à entrer, tantôt les effleurant tout juste, tantôt s'en détournant sans y toucher. — Dans ce dernier cas, l'insecte était évidemment averti par l'odorat, mais seulement à très courte distance, que la fleur, tout d'abord indiquée par la vue, n'avait rien de bon à lui offrir.

4. — Un *Sphinx macroglosse*, après avoir visité diverses fleurs se porte droit sur une rose, s'arrête à deux centimètres et part. — Pourquoi y est-il venu? Ce n'est point le parfum qui l'a sollicité, puisque, à très courte distance, sans développer sa trompe, il s'enfuit. La couleur seule, signe ordinaire de la présence du nectar, a pu l'appeler. Mais ce nectar, flairé de près, lui déplaît, et il s'enfuit.

(1) Voir, sur cette question controversée, l'appendice A à la fin du mémoire.

C'est par centaines que ce lépidoptère m'a fourni des observations analogues à celle qui précède. Il suffit de le suivre quelques minutes dans un jardin, pour être témoin de quelqu'une de ses méprises.

5. — Un *Bombus soroënsis* (Gèdre, 31 août) butine exclusivement sur du trèfle blanc, dans une pelouse où il est rare, et où le trèfle rose abonde. Il passe à côté des fleurs roses sans plus y prêter attention qu'à des feuilles. Mais il lui arrivait de se porter sur une inflorescence fanée, et par suite, plus ou moins blanchie du trèfle rose, pour la quitter aussitôt heurtée et chercher ailleurs. — Il était manifeste que la couleur blanche l'appelait et qu'il ne cherchait que cette couleur liée, dans son intellect, à la notion de nourriture convoitée. Le lecteur ne sera pas surpris que l'insecte négligeât le trèfle rose, s'il veut bien ne pas oublier l'habitude rappelée plus haut de l'hyménoptère, qui ne passe pas volontiers d'une espèce de fleurs à une autre, à moins toutefois qu'il n'ait une préférence marquée pour celle-ci.

6. — Une *Apis mellifica* butine sur des plantains dont un grand nombre d'inflorescences sont réunies en un bouquet. En les quittant, elle rencontre, à 15 centimètres environ, une très petite ombelle de *Daucus*, dont elle s'écarte dès qu'elle l'a touchée. — Attirée par la couleur blanche, comme celle des fleurettes de plantain d'où elle venait, elle s'était dirigée vers cette ombelle, pour la fuir dès qu'elle en a eu perçu l'odeur.

7. — Dans une prairie où les fleurs de *Leontodon* abondent, sont même les plus communes, une petite ouvrière de *B. terrestris* butine sur ces fleurs. Il lui arrive parfois de se porter sur une autre semiflosculeuse, d'inflorescence très semblable, mais plus petite. Jamais elle n'y stationne : la couleur identique à celle du pissenlit, qu'elle visite pour le moment, l'a attirée, le parfum la repousse.

Ce même bourdon délaissait pareillement, à peine abordés, des capitules de la plante exploitée, mais dont aucun fleuron n'était épanoui, où il n'avait partant rien à prendre, où sans doute le parfum était absent, ainsi que le nectar, ce que la vue seule ne lui disait pas.

Il délaissait de même, après les avoir atteints, des capitules largement épanouis, mais déjà plus ou moins flétris. Là non plus, malgré la couleur qui l'avait appelé, il n'avait rien à faire.

Je l'ai vu aussi, car j'ai longtemps suivi cet individu, ne pas s'arrêter à un capitule bien étalé et non flétri. J'ai examiné cette inflorescence à la loupe; presque toutes les corolles étaient déformées et partiellement rouillées par le fait d'une cryptogame.

**8.** — Mais il est des cas plus difficiles à expliquer. Des ouvrières de *B. lapidarius* butinent sur ces pissenlits, et se comportent de même. Je note quelquefois un fait qui me surprend : des capitules absolument frais et de tous points semblables d'aspect à ceux où ils stationnent et picorent avidement sont par eux abandonnés, dès qu'ils les touchent, comme ils feraient d'une fleur dédaignée ou flétrie. La loupe ne révèle rien d'anormal. L'explication est peut-être dans le fait suivant. Il arrive parfois que l'insecte, après quelques secondes employées à visiter un capitule voisin, revient à celui qu'il avait épuisé précédemment; il le fuit aussitôt. Il se peut donc qu'une fleur paraissant normale soit une fleur déjà épuisée, ce que la couleur ne pouvait révéler. En tout cas, il est frappant de voir avec quelle promptitude cet état est reconnu.

**9.** — Par un temps très chaud (10 juillet), un petit *B. terrestris* butine avec une extrême vivacité sur le jasmin. Après avoir comme donné un coup d'œil à la gorge de la corolle, plus exactement, après avoir flairé la présence du nectar, il va sans hésiter à la base du tube, qu'il mordille en s'agitant de droite et de gauche, avec une pétulance amusante; puis, un trou pratiqué dans le tube, il y introduit sa trompe et suce longtemps. J'assiste plusieurs fois à l'opération. Tombe-t-il sur une fleur un peu fanée, il la fuit immédiatement. Si le nectar seul attirait l'insecte, il eût passé, sans s'arrêter à une fleur qui en était dépourvue. Il a obéi à sa vue, l'odorat a rectifié sa première impression.

**10.** — A Gèdre, près Gavarnie, les Saponaires abondent, assemblées parfois en groupes nombreux en un même point, aux bords des chemins ou du gave. Dès la deuxième quinzaine d'août, le *Sphinx Convolvuli* les visite assidûment.

Un jour, j'ai observé à loisir un de ces lépidoptères. Dans une inflorescence donnée, il s'adressait presque sans exception aux fleurs à corolle fraîche, et par conséquent bien pourvues de nectar. Cependant il lui arrivait de porter sa trompe sur une fleur un peu fanée,

trompé évidemment par la couleur non encore altérée, mais il reconnaissait vite son erreur et passait à une autre. Vu la courte distance qui sépare les fleurs d'un même bouquet, c'est l'ensemble des parfums des fleurs qui le composent que l'insecte perçoit et non individuellement le parfum de telle ou telle fleur. De là l'erreur commise, la vue ne distinguant point une fleur à peine flétrie et dépourvue de miel d'une fleur fraîche et bien pourvue.

La manière dont le Sphinx introduit sa trompe dans le tube de la corolle est digne d'attention. Rarement l'extrémité de l'organe donnait directement du premier coup dans l'orifice du tube. Presque toujours elle buttait d'abord contre le limbe d'un pétale, erreur de direction bien vite corrigée par une vue plus attentive. Le bout de la trompe, par sa flexibilité, sa délicatesse tactile, intervenait peut-être pour l'obtention de la direction convenable. Mais si la vue n'avait fait le principal, les tâtonnements, semblait-il, eussent été plus prolongés et la correction moins prompte. L'impression restait même que la vue seule devait intervenir.

Un autre jour, je suivais encore un Sphinx sur les Saponaires. A deux reprises, en passant d'une touffe à une autre, il donne sur des *Achillæa*, qu'il effleure à peine, puis s'éloigne. Comme tant d'autres insectes dont j'ai déjà parlé, trompé par la couleur, il avait cru avoir toujours affaire aux fleurs qu'il était en train d'exploiter. L'odorat, s'il était seul à intervenir, n'eût pas dû lui permettre seulement d'approcher. Mais l'habitude, l'inattention qui en résulte, expliquent assez son erreur.

A quelques mètres de là, le Sphinx, quittant la station des Saponaires, est détourné de son chemin par un gros capitule jaunâtre de *Carduacée*. Il le sonde un instant, en vain, et disparaît. Le jaune de la fleur, très fanée, était notablement pâli, presque blanc : il l'avait pris pour un bouquet semblable à ceux qu'il venait de quitter.

**11.** — A l'heure des Sphinx, une ouvrière de Bourdon (*terrestris*) attardée, rentrant au nid, est détournée de sa direction par les Saponaires, dont elle frôle un bouquet, puis un autre, puis elle reprend sa direction première. La couleur l'avait attirée, le parfum la repousse. Les Bourdons ne visitent pas ces fleurs, dont le nectar leur déplaît, sans doute. Ils sauraient l'atteindre, comme tant d'autres aussi profondément situés, s'il ne répugnait pas à leur goût.

**12.** — Une femelle d'*Anthophora pilipes* rôde quelques instants autour d'une corbeille de rosiers. Elle se porte successivement sur cinq roses, épanouies ou en bouton, les flairant à distance de deux ou trois centimètres, les examinant sur leur pourtour, enfin elle les quitte, sans se poser sur aucune. — Ce n'était pas le parfum qui l'attirait, puisque la fleur, en définitive, ne lui convenait pas ; c'était évidemment la couleur.

**13.** — Un mâle de *Xylocopa violacea* butine sur une touffe multiflore de *Narcissus odorus*. Invariablement il opère de la façon suivante : il aborde la fleur en se posant une seconde à peine sur la gorge, pour s'en aller aussitôt à la base du tube, que, de ses robustes mâchoires, en forme de large poignard, il perfore sans peine en deux ou trois coups, pour atteindre le nectar, qu'il hume à longs traits. Il lui est arrivé une fois de trouer ainsi l'ovaire, sur lequel il n'a pas insisté, et est retourné un peu plus haut, au tube nectarifère. Avait-il constaté, en flairant au bord de la collerette, qu'il n'y avait pas de nectar au fond de la fleur, une fleur déjà exploitée par lui, il passait outre et se rendait à une autre. Deux personnes, avec moi, observaient ce *Xylocopa* ; effrayé à un moment par notre voisinage, il s'est envolé mais il n'a pas tardé à revenir et a repris ses opérations. Reparti encore, il revient au bout de quelques instants, fait quelques évolutions dans le jardin, puis s'adresse à un gros bouquet de *Narcissus pseudonarcissus* à fleurs doubles. Il n'a fait qu'y toucher et a disparu. — Quelle cause a pu l'attirer vers ces dernières fleurs ? Qu'il les ait prises ou non pour celles dont il avait déjà tiré parti, ce ne pouvait être un parfum qui l'avait déterminé, puisqu'à peine flairé, ce parfum le repousse. Ce ne pouvait être que la couleur. Si ces fleurs eussent été de la couleur des feuilles, il n'y serait assurément pas venu.

**14.** — Un *Eristalis tenax*, après avoir volé au-dessus de quelques-unes des fleurs du *N. pseudonarcissus* précédent, vient à l'*odorus*, dont il visite plusieurs fleurs, en pénétrant tout entier dans la gorge de la corolle ; puis, après s'être quelque temps ensoleillé sur un mur, visite successivement, et assez sommairement, des jacinthes bleue, blanche, rose, bleue, bleue, blanche. Le Diptère est manifestement attiré par ces couleurs, car d'autres inflorescences encore vertes, tout aussi

volumineuses que les fleuries, n'attirent pas plus son attention que les feuilles.

J'arrête ici ces exemples qu'il me serait facile de multiplier. Pour tout esprit non prévenu, l'interprétation, ce semble, ne peut être douteuse, l'action des couleurs est manifeste, et la thèse de F. Plateau, l'intervention exclusive de la perception des odeurs ne peut expliquer les faits qui précèdent. La seconde catégorie de faits qu'il me reste à faire connaître est, s'il se peut, encore plus démonstrative.

### Expériences faites avec des objet colorés.

1. — Le Macroglosse, dont j'ai parlé plus haut, n'est pas attiré seulement par des fleurs, qu'elles soient ou non utilisables pour lui. Des objets vivement colorés quelconques, pourvu qu'ils ne soient pas de trop grande surface (1), l'attirent également avec une grande facilité. J'en ai fait connaître, dans mon premier travail, des exemples frappants. Maintes fois, depuis, j'ai trompé ce papillon en plaçant sur des arbustes des morceaux de papier ou d'étoffe vivement colorés.

J'ignorais ou j'avais oublié, en 1894, que des faits très nombreux de même nature avaient été signalés par Romanes. On lit, à la page 162 de son livre *L'évolution mentale chez les animaux* :

« Le révérend M. Bevan et miss E. Shuttleworth m'écrivent, chacun de son côté, qu'ils ont vu des abeilles et des guêpes faire visite à des images de fleurs sur les papiers de tenture d'appartements, et Trevillian a vu un Sphinx commettre la même erreur (V. Houzeau, t. I, p. 240). Swainson, dans ses *Zoological Illustrations*, cite un cas analogue chez un animal vertébré : un perroquet d'Australie, dont la nourriture vient des fleurs d'*Eucalyptus*, fut aperçu essayant de manger des fleurs représentées sur une robe en indienne teinte. De même, M. le professeur Moseley, membre de la Soc. Roy. de Londres, m'apprend qu'il a vu des Insectes en quête de miel prendre pour des fleurs les mouches à saumon vivement colorées qu'il plante sur son chapeau pendant qu'il pêche à la ligne, et M. F.-M. Burton, écrivant à *Nature* (vol. XVII, p. 162), dit qu'il a vu le *Macroglossa stellatarum* prendre des fleurs artificielles du chapeau d'une dame pour de véri-

(1) On verra plus loin la nécessité de cette restriction.

tables fleurs. Chose plus curieuse encore, le naturaliste Couch a vu une abeille prendre une Actinie (*Tealia crassicornis*) « à peine couverte d'une légère couche d'eau, » pour une fleur; elle se précipita vers le centre du disque, et, « bien qu'elle luttât beaucoup pour se libérer, elle fut retenue jusqu'à ce qu'elle fût noyée et alors fut avalée. »

Les faits rapportés par Romanes sont d'autant plus précieux à enregistrer qu'ils n'ont pas été cherchés dans l'intérêt d'une opinion à défendre.

Revenons à notre Macroglosse. Après avoir cité mon observation concernant ce lépidoptère (*Soc. Linn.*, 1897), Plateau ajoute :

« Je laisse momentanément de côté les faits concernant le Macroglosse, me réservant... de réunir en un ensemble mes diverses recherches sur ce curieux Lépidoptère. » (*Ann. Soc. ent. de Belgique*, t. XLIV, 1900.)

Je regrette vivement ce délai qu'impose à ma curiosité bien légitime mon savant contradicteur. Il n'est pas, en effet, à ma connaissance, de démonstration plus péremptoire de l'attraction produite sur un Insecte par une fleur sans nectar ou un objet coloré, que celle que m'a fournie, à satiété, l'observation de ce papillon. Le grand nombre des faits décisifs que j'en ai obtenus, après tant d'autres observateurs, tient sans doute à la vision relativement plus parfaite de cet insecte, qui lui permet de bien voir, à la distance de 2 ou 3 mètres, un objet coloré. On comprend donc que je sois intrigué de savoir l'interprétation différente qui peut être donnée de ces faits. Il eût été bien facile à F. Plateau, qui a déjà donné maint détail concernant d'autres lépidoptères, de faire connaître en quelques lignes ce qu'il en pense. Le travail qu'il annonce sur notre lépidoptère n'en eût pas été sensiblement défloré.

**2. —** « Un morceau de ruban d'un jaune orangé vif est déposé parmi les feuilles d'un rosier sans fleurs. Un *Eristalis tenax* passant au vol est arrêté par l'éclat de ce ruban, décrit, à 2 ou 3 centimètres au-dessus, quelques tours rapides, sans se poser, puis s'éloigne, n'étant retenu par aucun parfum. »

Cette expérience, que j'ai rapportée dans une Note préliminaire <sup>(1)</sup>, est non avenue pour F. Plateau, s'en référant à ses propres expériences.

« Quant à l'observation de Pérez, dit-il, ayant trait à un *Eristale*

(<sup>1</sup>) *Actes de la Soc. Linn. de Bordeaux*, t. LII, Pr. verb., p. LXXXVII, 1898.

soi-disant attiré par une étoffe à couleurs vives, il n'y a là probablement qu'un cas isolé, sans portée générale, comme le prouvent les expériences poursuivies méthodiquement <sup>(1)</sup>. »

Nous reviendrons sur ces expériences et nous aurons à les apprécier. Qu'il me suffise pour le moment de constater que le fait n'est nullement accidentel, mais conforme à l'ensemble des observations relatées dans ce chapitre.

**3. —** De part et d'autre d'un escalier de jardin, deux Glycines étalent à profusion leurs grappes violet pâle et leur tendre feuillage. Une foule d'abeilles, entre autres insectes, s'y régalaient tout le jour. Je remarque qu'une d'elles, passant d'un côté à l'autre de l'escalier, s'arrête pour flairer des fleurs détachées, tombées sur une des marches. L'idée me vint de déposer, parmi ces fleurs tombées, des fragments de papier de même couleur, un peu chiffonnés pour leur donner un peu plus l'apparence de ces corolles. J'eus quelque temps à attendre, mais enfin la satisfaction de voir ma supercherie réussir : je vis une abeille accoster quelques-uns de ces chiffons de papier n'ayant des fleurs que la couleur, pour les quitter, à peine touchés, tandis que, sur les fleurs tombées, mais encore fraîches, elle cherchait la base de la corolle, où elle trouvait parfois un peu de miel.

**4. —** Des abeilles butinent activement sur les fleurs d'un *Symphoricarpos*. Des petites boulettes de papier rose de la nuance des fleurs sont enfilées à une longue épingle, à la suite d'un ou deux fruits blancs de l'arbuste, pour figurer une inflorescence, et je fixe l'épingle au bout d'un rameau non florifère, ou dont j'ai supprimé l'inflorescence. L'opération est répétée plusieurs fois, afin de faciliter l'observation, en multipliant les chances d'accès des butineuses à ces fausses inflorescences. Dans la même intention, je remplace, sur quelques-unes des vraies, par des boulettes de papier rose, fixées par de fines et courtes épingles, toutes les fleurs ouvertes, en laissant au bout du rameau les fruits qui le terminent.

Une abeille qui venait de visiter une inflorescence normale, vient frôler un de ces trompe-l'œil, mais ne s'y arrête point, repoussée à distance par l'absence d'odeur de nectar. Une autre fois, une abeille,

<sup>(1)</sup> *Expériences sur l'attraction des Insectes par les étoffes colorées et les objets brillants* (Ann. Soc. ent. de Belgique, t. XLIV).



quittant aussi une inflorescence vraie, fait un crochet vers une inflorescence artificielle, dont elle ne s'est pas approchée à plus de 2 centimètres. L'une et l'autre n'étaient pas moins venues, appelées par la couleur.

Un *Bombus agrorum* fut plus démonstratif. Après avoir visité quelques fleurs de l'arbuste, il s'est porté sur plusieurs inflorescences, tant naturelles qu'artificielles, jusqu'à les toucher mais sans se poser sur aucune. Ce bourdon m'a paru attiré plutôt par les fruits blancs, beaucoup plus apparents que les fleurs; du moins, plus d'une fois, c'est le fruit qu'il touchait et non les fleurs. Il était d'ailleurs très vif, presque brusque.

Un *Halictus sexnotatus*, plusieurs mâles de *Halictus morio* se sont comportés d'une façon analogue, mais moins évidente, ce que j'attribue à la plus vive sensibilité olfactive de ces abeilles et à la prestesse plus grande de leurs allures. Ils se détournaient si vite des fausses inflorescences et les approchaient si peu, qu'il était assez difficile d'apprécier leurs démarches.

— A propos de cette expérience, une remarque est à faire. Je viens de dire que l'ouvrière de *B. agrorum* paraissait attirée par les fruits blancs terminaux, la partie la plus voyante des inflorescences. Les abeilles s'en allaient toujours droit aux petites fleurs peu apparentes. Le bourdon, qui venait pour la première fois, et que je n'ai pas revu, n'était qu'un passant, une butineur d'occasion. Les abeilles étaient des habituées, connaissant leur affaire. Si j'avais pu voir une abeille à sa première visite, je ne doute pas que, bien qu'attirée par l'odeur des fleurettes, elle n'en eût attribué la source aux boules blanches, et ne se fût tout d'abord portée sur l'une d'elles, avant de découvrir le siège du nectar.

5. — « F. Plateau a, dans diverses expériences <sup>(1)</sup>, recouvert avec des feuilles vertes tout ou partie de fleurs ou d'inflorescences, et a vu néanmoins ces fleurs, totalement ou partiellement soustraites à la vue, attirer les insectes par leur seul parfum. Il n'y a là rien de bien nouveau; on sait depuis longtemps, et j'en ai cité quelques exemples <sup>(2)</sup>, que les abeilles savent très bien trouver du miel qu'il leur est impossible de voir. »

(1) *Bull. Acad. Roy. de Belgique*, t. XXXII.

(2) *Actes de la Soc. Linn.*, t. XLVII.

Mais de ce qu'aucun signe coloré ne les guide en pareil cas, il ne s'ensuit nullement qu'une telle indication, quand elle existe, soit inutile et qu'ils n'en sachent profiter.

« J'ai, comme dans l'expérience de F. Plateau, soustrait à la vue, en les recouvrant, des fleurs recherchées par les abeilles; j'ai fixé ensuite sur la même plante, près des fleurs cachées, et parfaitement en évidence, des lambeaux de papier ou d'étoffe vivement colorés. C'est directement sur ces objets que se portaient les abeilles. Attirées par le parfum des fleurs qu'elles ne voient pas, c'est à ces lambeaux qu'elles en attribuent la source; mais, détrompées aussitôt, elles les abandonnent; l'odeur toujours perçue les retient cependant, elles cherchent dans le voisinage, et elles ont bientôt fait de découvrir les fleurs recélant le nectar, objet de leur convoitise. » (*Actes de la Soc. Linn. Procès-verbaux*, t. LII. Note préliminaire.)

J'ai utilisé, pour cette expérience, d'abord un groseillier à fleurs roses, médiocrement fleuri, dont je supprimai les inflorescences trop à découvert, et dont les grappes conservées furent dissimulées à l'aide de feuilles rapprochées et retenues par divers procédés. Des morceaux d'étoffe colorée à peu près comme les grappes, déchiquetés de manière à leur donner une vague ressemblance avec celles-ci, réussirent à tromper quelques abeilles habituées à fréquenter cet arbuste. Elles parurent d'abord déconcertées, mais elles finirent cependant, après maint détour, par découvrir les grappes mellifères. Je ne vis venir d'autre insecte qu'un Bourdôn, une grosse femelle de *terrestris*, qui fit deux ou trois crochets vers ces morceaux d'étoffe, mais n'insista pas et partit.

Je me servis également d'un petit oranger en pot, en pleine floraison et très visité par les abeilles. Les fleurs les plus extérieures furent enlevées, les autres cachées sous des feuilles rapprochées. Puis des petits rectangles de papier blanc furent mis en évidence sur des feuilles, ou à côté, sur des rameaux. Plus d'une abeille vint se jeter sur ces fragments, pris par elles pour les fleurs accoutumées.

Des résultats semblables furent obtenus, à diverses époques de l'année, avec d'autres plantes. Je ne crois pas utile de surcharger mon récit de comptes rendus identiques.

**6. —** Je rapporterai cependant une expérience faite dans des conditions particulières. Dans les cas précédents, j'ai tiré profit, pour la

commodité et la rapidité de l'observation, de l'habitude qu'avaient les abeilles d'un rucher voisin de venir visiter les arbustes que j'utilisais, J'ai voulu supprimer cette condition d'habitude, tout en conservant l'avantage d'avoir les butineuses rapidement et en nombre suffisant.

Des fleurs naturelles, surtout si elles sont cachées, attirent peu les Insectes, qui parfois se font longtemps attendre. Le miel exerce une attraction bien plus puissante. J'ai donc sur un Laurier-tin, qui se trouvait dans le même jardin que les arbustes précédents, déposé du miel sur plusieurs rameaux, à 8-10 centimètres de leur extrémité. A l'extrémité même des rameaux, je fixai des carrés de papier, les uns blancs, les autres bleu clair, jugeant inutile de m'attacher, vis-à-vis d'animaux à vision peu précise, à une reproduction plus fidèle de formes florales. Le résultat ne se fit pas longtemps attendre. Les abeilles survinrent bientôt, attirées par l'odeur du miel, et ne manquèrent pas de se jeter, à l'arrivée, sur les carrés de papier. Déconvenue, hésitations, recherche agitée, puis enfin découverte du miel, comme dans les cas précédents.

Un détail qui n'est pas sans intérêt. L'observation était commencée depuis déjà quelque temps, quand je remarquai que certaines abeilles, d'allures assez vives, au lieu de s'abattre sur les fausses fleurs, ou seulement de les approcher, n'en avaient cure, se faufilaient sans hésitation entre les feuilles et allaient droit au miel. Je compris que ce devaient être des butineuses ayant déjà fait un ou plusieurs voyages et sachant à quoi s'en tenir. A la vérité, pour en avoir la certitude, il eût fallu marquer les abeilles, afin de pouvoir les reconnaître. L'idée ne me vint pas sur le moment. En définitive, l'expérience avait été satisfaisante, et quand je songeai plus tard à ce détail oublié, je ne crus pas nécessaire, pour si peu, qu'il valût la peine de la renouveler. Lubbock<sup>(1)</sup> a suffisamment montré qu'en pareil cas, les abeilles ne manquent pas de revenir.

Cette expérience, plus que toute autre, met en évidence les rôles respectifs de la vision et de l'odorat, l'action propre de la couleur et du parfum des fleurs.

Bien peu nombreux sont, en général, les cas d'attraction due à la couleur seule. Ils ne se manifestent avec évidence que chez des Insectes doués d'une vision relativement bonne, surtout assez longue. Tels

(<sup>1</sup>) *Fourmis, Abeilles et Guêpes*, t. II.

sont particulièrement les Bourdons et les Sphinx, qu'une couleur voyante attire d'assez loin, quelques pieds pour les premiers, deux à trois mètres pour les seconds. L'absence de nectar bientôt reconnue, ils s'éloignent. On peut à satiété observer de tels actes chez ces animaux.

Ils sont rares cependant, même chez eux, en égard aux attractions produites par des fleurs véritables. Et cela se conçoit, l'attraction du parfum s'ajoutant à celle de la couleur, ou précédant celle-ci, lorsque les fleurs sont nombreuses ou fortement odorantes.

Une fleur qui répand du parfum attire, même sans être vue. Une fleur sans parfum ou une fleur simulée ne peut attirer qu'à la condition d'être vue.

Cela est encore plus vrai si, au lieu d'Insectes à longue vue, il s'agit d'insectes mal doués sous ce rapport, comme l'*Apis mellifica*, par exemple. Il peut alors arriver, et il arrive très fréquemment, que la butineuse passe très près de la fleur inodore sans la voir. Il faut, pour qu'elle l'aperçoive, qu'elle tombe dessus pour ainsi dire. C'est assez de quelques centimètres pour qu'elle n'ait pas la notion de sa présence.

Il n'est donc pas surprenant que tant d'observateurs aient signalé le peu d'effet de la couleur seule, que Hermann Müller, pour l'expliquer, ait imaginé que si les fleurs artificielles en papier ou en étoffe exerçaient si peu d'attraction, cela pouvait tenir à la différence des qualités optiques de ces matières, comparées aux fleurs naturelles. Hypothèse que rien ne justifie, car elle supposerait chez ces animaux une délicatesse de perception visuelle que toutes les expériences contredisent. Hypothèse d'ailleurs réduite à néant par le fait, constaté par H. Müller lui-même, que des fleurs fabriquées à l'aide de pétales empruntés à des fleurs naturelles ne donnent pas de meilleurs résultats que des fleurs en papier. Ces simulacres ne peuvent pas attirer un Sphinx de plus loin, ni avoir plus de chances de tomber sous la vue d'une abeille.

Les expériences qui précèdent s'ajoutent aux observations rapportées en premier lieu, et démontrent, je crois, pour tout esprit non prévenu, que les couleurs des fleurs non seulement sont vues par les Insectes, mais qu'elles servent à les guider, puisqu'elles les appellent parfois, alors même qu'elles ne sont pas accompagnées de nectar ou de pollen. Il n'est pas possible de parler, avec Plateau, de faits « accidentels ».

Quelques insuccès ne sauraient infirmer des faits positifs, qu'il sera toujours possible, sinon facile, à un observateur quelque peu patient de reproduire.

### Les expériences de F. Plateau.

Ainsi que je l'ai dit plus haut, quelques-uns des faits que je viens d'exposer ayant été sommairement indiqués dans une Note insérée au t. LII des *Actes de la Soc. Linn. de Bordeaux*, ont été critiqués par F. Plateau. C'est le moment maintenant d'examiner ces critiques et les expériences que le savant professeur de Gand leur oppose (1).

« Désirant arriver à des résultats qui résolvent, dans un sens ou dans l'autre, la question de l'attraction par des étoffes colorées ou des objets brillants, » l'auteur fit diverses expériences que nous allons résumer.

Des morceaux d'étoffes de forme rectangulaire, de couleur vive, rouge, jaune, violet, bleu de ciel, etc., au nombre de six, sont suspendus, comme des étendards, à des rameaux de plantes fleuries, en plein soleil. Avec un scrupule d'exactitude minutieuse qui ne néglige aucun détail, l'ordre de rangement de ces étendards est donné, ainsi que l'étendue de leurs surfaces respectives, qui varie entre les extrêmes 516 et 176 centimètres carrés.

Dans une deuxième expérience, l'emplacement restant le même, l'ordre de disposition seul est changé.

Dans une troisième expérience, le matériel est transporté dans un autre endroit du jardin.

Dans une quatrième expérience, enfin, des étoffes colorées « nouvelles » sont substituées à celles déjà employées, et l'on revient à l'emplacement primitif. Les dimensions des étoffes varient cette fois de 516 à 722 centimètres carrés.

Quant aux résultats, ils furent à peu près négatifs. Le total des quatre expériences se résume, en effet, en 30 attractions « très probables » et 8 « fort douteuses », ce qui donne, si l'on tient compte du temps qu'ont duré les différentes observations, une attraction probable par 9 minutes, une douteuse pour 33,7 minutes.

(1) F. PLATEAU, *Expériences sur l'attraction des Insectes par les étoffes colorées et les objets brillants* (*Ann. Soc. ent. de Belgique*, t. XLIV, 1900).

Ce résultat est même considérablement amoindri, si l'on tient compte de ce fait, qu'aux étendards avait été adjoint un morceau de frange de laine bleue formant une sorte de grappe de 15 centimètres de longueur, qui ne reçut pas moins de 28 visites notées comme très probables, 4 comme douteuses. Ce qui réduit les attractions

très probables à 2, soit une par 135 minutes,  
douteuses à 4, — 67,5,

« c'est-à-dire à presque rien (1). »

Telles sont, en gros, les expériences de Plateau. Je suis obligé d'avouer que la lecture des six pages qui les exposent me plongea dans un profond étonnement. Elle me convainquit que celui qui les avait conçues avait une idée inexacte de la question.

Et d'abord, je ne puis comprendre qu'on ait pu croire, en tout cas telle ne fut jamais ma pensée, que la couleur seule et pour elle-même, ait le don d'attirer les Insectes. La couleur n'est pour eux qu'un indice, un signe que là où ils la voient, de là aussi vient le parfum qu'ils perçoivent, là réside le nectar, unique objet de leurs recherches. C'est le rôle d'*enseigne*, la fonction *veixillaire*, selon l'expression de Delpino, dévolue à la corolle ou, plus généralement, au péricorolle coloré. De la couleur elle-même ils n'ont cure; ce n'est point sa beauté ou sa luminosité, en soi, qui les sollicite. Ils ne font point de l'esthétique, à coup sûr. Ils songent à manger, et rien de plus. Ils savent d'instinct, et l'expérience doit confirmer en eux cette tendance naturelle, que le siège de leur nourriture est d'ordinaire coloré, se distingue par son éclat des objets voisins, et voilà pourquoi ils s'y portent avec tant

(1) L'expérimentateur ayant remarqué que cette frange bleue avait « une odeur spéciale, rappelant celle de la graisse rancie, odeur due évidemment à la teinture, et pouvant seule expliquer les attractions observées », cette frange fut lavée à l'alcool, puis séchée. Elle n'en produisit pas moins, dans la quatrième expérience, 4 attractions notées comme certaines, et 2 comme douteuses.

D'où il suivrait, à mon avis, puisque l'ablation de l'odeur n'avait pas eu d'effet, que sa présence n'en avait pas eu davantage. On a même peine à comprendre que l'auteur ait pu croire un instant qu'une odeur de graisse rancie puisse flatter l'odorat d'insectes vivant du nectar des fleurs. Le résultat de cette observation pourrait plutôt être porté au bénéfice des idées de Lubbock au sujet de la préférence attribuée aux Insectes pour la couleur bleue, s'il n'était plus simple de penser que, seule, la dite frange rappelait plus ou moins une inflorescence, et, à ce titre, pouvait être préférée par les insectes aux étendards, qui n'y ressemblaient nullement.

d'assurance, mieux guidés par la vue, dès que celle-ci est possible, que par l'odorat, médiocre indicateur pour la direction.

Plateau a oublié ces conditions, nécessaires parce qu'elles sont naturelles, des actes qu'il étudie. Ses expériences sont donc, par là, frappées d'inanité : elles ne sauraient rien fournir quant aux rapports naturels des Insectes avec les Fleurs.

Ces vastes drapeaux sont ainsi sans valeur : il eût fallu des objets colorés de la dimension ordinaire des fleurs, que les Insectes eussent pu prendre pour des fleurs véritables. Attirés par l'éclat de ces simulacres, comme ils le sont fréquemment, ainsi que mes observations l'ont établi, par des fleurs sans nectar, ou dont le nectar leur déplaît, ils y seraient venus, sauf à les délaisser aussitôt, à moins de s'y poser simplement comme sur un objet indifférent. Il est vraisemblable qu'en pareilles circonstances les attractions auraient été plus nombreuses que Plateau ne l'a constaté, si tant est qu'il ait même été témoin, étant données les conditions défectueuses de ses expériences, d'attractions véritables.

Inutile d'insister, après les remarques qui précèdent, sur la nulle importance des mesures géométriques au centimètre près de la surface de ses étendards, que l'auteur a pris la peine de nous donner. Je ne relèverai pas davantage plus d'un détail accessoire de ces observations, où l'apparence d'une rigueur mathématique ne peut faire illusion sur l'insuffisance de l'idée fondamentale.

Mais il y a plus encore. Ces expériences, mal conçues en principe, n'étaient pas même utiles, par ce fait que, sans le savoir, on les fait tous les jours. On ne voit pas les Insectes manifester un goût particulier pour les linges blancs ou vivement colorés que les lessiveuses étalent au soleil. Si ces grandes surfaces claires, qui ressemblent tant aux étendards de Plateau, avaient pour eux quelque attrait, il y a longtemps que la chose serait de connaissance vulgaire, et les entomologistes en sauraient profiter. A la vérité, il ne m'arrive jamais de passer à côté de ces étalages sans y jeter un coup d'œil, non que je croie qu'ils attirent spécialement les Insectes, mais parce que ceux qui s'y trouvent fortuitement se révèlent comme des taches sur ces surfaces claires, alors qu'ils échappent à la vue sur des surfaces sombres.

J'ai donné plus haut des expériences que j'ai faites à l'aide d'étoffes colorées placées au voisinage de fleurs masquées par des

feuilles. Quelques-unes de ces expériences étaient déjà sommairement indiquées dans mon premier travail. Désirant répéter celles-ci, Plateau a masqué complètement, au moyen de folioles de vigne vierge, treize capitules de dahlia et trois capitules de *Rudbeckia laciniata*; puis il a suspendu, entre les inflorescences cachées, des lambeaux d'étoffes colorées, représentés par les grands drapeaux que nous connaissons. Cette fâcheuse condition a naturellement gâté encore les résultats, et Plateau a pu voir divers insectes, attirés par l'odeur des fleurs masquées, les rechercher en effectuant des tours et des détours, sans se préoccuper aucunement des lambeaux d'étoffe colorée.

Il en conclut que l'expérience « a montré d'une façon nette que les étoffes colorées n'attirent pas plus les Insectes que lorsque les fleurs sont à découvert ».

Pour nous, l'intervention des fâcheux étendards a encore altéré les résultats de l'expérience, et le lecteur a vu qu'ils sont tout autres quand on ne s'écarte point des conditions naturelles, et qu'on offre aux insectes des objets colorés qu'ils puissent prendre pour des fleurs.

Quoi qu'il en soit, mon savant collègue de Gand, en son entière confiance dans les résultats qu'il obtient, croit que j'aurai « probablement considéré comme produits par une attraction pour les chiffons les mouvements, du reste très curieux à observer, qu'effectuent les insectes à la recherche de fleurs cachées par les feuilles, *alors qu'aucune étoffe ou aucun papier ne sont en présence.* » (Souligné par l'auteur.)

J'aurais « évité cette méprise », ajoute-t-il, si j'avais relu attentivement les passages suivants de ses premières recherches, et que je reproduis après lui :

« Ce qui est surtout intéressant à observer, ce sont les allures curieuses des insectes : un *Bombus*, par exemple, arrive vers une des inflorescences habillées de vert, attiré évidemment par autre chose que la forme et la couleur ; il hésite, *tournoie, repart, revient*, constatant un obstacle entre lui et le cœur jaune dont les émanations excitent sa convoitise ; enfin, guidé par ces émanations, il s'insinue entre la grande foliole et la petite, etc...

» Les capitules intacts (non masqués) permettent de constater que souvent l'insecte qui arrive vers une inflorescence masquée, attiré presque certainement par l'odorat, surpris de rencontrer un obstacle, *décrit dans l'air une simple courbe au voisinage de l'inflorescence en*



*question* et, trouvant à quelques décimètres de là un autre capitule non modifié, se pose sur ce dernier pour butiner.

» Je n'ai pas compté le nombre des cas de ce genre qui se présentent à tout moment, mais j'ai noté les fois où l'animal, influencé par l'odeur d'un capitule dissimulé, *cherche évidemment (en insistant dans sa recherche) à découvrir le corps qui l'attire et ne part qu'après des tentatives infructueuses.*

» Trop familiarisé par une étude constante de plusieurs années avec les allures des insectes observés, je ne me suis pas laissé induire en erreur et j'ai interprété les résultats de l'expérience... comme ils devaient l'être, c'est-à-dire dans un sens négatif. »

Plateau s'abuse étrangement, s'il s'imagine que tous ces faits et gestes de nos bestioles m'échappent ou m'embarrassent. Mais je les ai observés comme lui ! Autant qu'à lui ils me sont familiers, et bien longue aussi, — trop longue, hélas ! — est la série des années durant laquelle j'ai poursuivi jusqu'à ce jour leur attachante étude. Entre mon savant contradicteur et moi, l'interprétation seule diffère. Au lecteur de juger lequel de nous « ne s'est pas laissé induire en erreur », lequel a « interprété les résultats de l'expérience comme ils devaient l'être ».

Arrivé au terme de cette discussion, une réflexion se présente à mon esprit. Après avoir montré jadis, contrairement à l'opinion la plus répandue, que le parfum des fleurs et non pas leur coloration seule attire les Insectes, je me suis vu amené, par l'exclusivisme opposé de Plateau, à cette situation qui peut paraître singulière, de venir apporter par ce travail un appoint à une théorie que, dans ma première étude, j'avais jugée insuffisante. Mon sentiment n'a point changé. Il suffit, pour s'en convaincre, d'une lecture attentive de mes nouvelles observations, qui ne sont, à vrai dire, que la continuation des anciennes. Également éloigné de tout attribuer exclusivement, soit au parfum des fleurs, soit à leur coloration, je me suis attaché à mettre en lumière le rôle de chacun de ces deux facteurs de leur attraction sur les Insectes.

Je résumerai donc, dans les propositions suivantes, comme j'aurais pu le faire dès 1894, la manière dont je comprends les rapports des Insectes avec les fleurs qui les nourrissent :

# 1. — A distance, les Insectes ne peuvent être guidés vers les fleurs

en masses que par les effluves odorants qu'elles répandent et que les courants d'air transportent.

**2.** — A la distance où la courte vue de ces petits êtres peut s'exercer, celle-ci intervient et les dirige avec précision vers le siège du nectar qu'ils recherchent.

**3.** — Pour les fleurs isolées, la couleur seule, en général, les révèle à l'Insecte. L'odorat intervient, à courte distance, pour confirmer ou infirmer cette première impression.

**4.** — Le parfum peut ne pas coexister avec la couleur, ou la couleur coïncide parfois avec un parfum dédaigné; l'odorat alors, à très courte distance, rectifie la notion que la vue a fournie.

**5.** — Enfin il est des cas où le parfum est isolé, comme le nectar d'où il émane (fleurs sans périanthe pétaloïde, chatons femelles des saules, etc.). L'odorat, alors, peut seul intervenir.

Il est bon de remarquer d'ailleurs, ainsi que divers auteurs l'ont déjà fait, et cela peut s'induire même de mes propres observations, que l'odorat, s'il était seul, pourrait suffire à conduire les Insectes jusqu'au nectar qu'ils recherchent.

## APPENDICE

### Note A.

*L'abeille butineuse est-elle fidèle à une espèce de plante déterminée?*

La question est controversée. Il a été produit, au sujet de cette fidélité, affirmée par les uns, niée par les autres, un grand nombre d'observations contradictoires<sup>(1)</sup>. Je crois qu'elles peuvent aisément se concilier. Il me suffira, pour le faire comprendre, de donner quelques faits qu'une longue pratique des abeilles m'a permis de constater. Mais d'abord, quelques explications sont nécessaires.

Lœw avait désigné sous le nom d'*oligotropes* les abeilles ne visitant que des fleurs d'un type déterminé, et sous celui de *polytropes* celles qui s'adressent à des fleurs de types divers.

Ch. Robertson a jugé à propos de restreindre l'acception de ces deux termes, en ne prenant en considération que la récolte du pollen. Pour lui, sont oligotropes les abeilles récoltant pour l'alimentation de leurs larves le pollen d'une espèce végétale unique ou de plantes affines, constituant un groupe plus ou moins étendu, genre ou famille; il appelle polytropes, les abeilles pouvant récolter du pollen de plantes de familles différentes. Cette classification, fondée sur une donnée biologique importante, la nutrition de la larve, et son aptitude à absorber du pollen d'une sorte ou de plusieurs, est éminemment suggestive, et correspond à deux modes distincts de l'activité des Abeilles.

F. Plateau, envisageant les choses sous un autre point de vue, désigne sous le nom de *constance* « le fait d'un Hyménoptère polytrophe, c'est-à-dire susceptible, comme l'Abeille domestique, de visiter des fleurs très variées, mais qui, *durant une sortie de la ruche ou du nid, limite son activité aux fleurs d'une seule espèce végétale.*

<sup>(1)</sup> F. PLATEAU, en a donné un bon historique dans ses *Observations sur le phénomène de la constance chez quelques Hyménoptères* (Soc. ent. de Belgique, t. XLV, 1901).

Il va de soi que, ainsi définie, la *constance* est un phénomène tout autre que celui de l'*oligotropisme*. Plateau insiste sur la distinction des deux idées que ces deux termes expriment, et je ne puis, à ce sujet, que prier le lecteur de se reporter à son Mémoire.

Je me vois contraint d'exprimer le regret que F. Plateau ait restreint à ce point la compréhension du terme qu'il emploie. Il s'ensuit, en effet, que telle abeille qui ne recueille que le pollen d'une seule espèce végétale, et qui est par conséquent oligotrope, ne peut être appelée *constante*, bien qu'elle ne visite que cette plante unique, qu'elle lui soit fidèle autant qu'il est possible. J'estime une telle restriction excessive, et, m'autorisant de l'exemple de Robertson, qui a donné une acception différente aux expressions créées par Lœw, je me permettrai d'appeler *constante* toute abeille polytrope ou oligotrope qui, pendant une sortie, ne visite qu'une seule espèce de plante.

La constance ainsi définie, il nous faut d'abord bien entendre que cette habitude, qui n'a rien d'absolu, n'appartient pas en propre à l'*Apis mellifica* seulement, mais aux abeilles en général, c'est-à-dire aux Insectes non seulement amateurs de nectar, mais collecteurs de pollen, à l'exclusion de tous les autres Hyménoptères.

Pour l'*Apis mellifica* et aussi pour les autres Abeilles sociales, la fréquentation exclusive de fleurs de même espèce, à un moment donné, est la règle ordinaire. On en peut voir la preuve dans les provisions de pollen amassé dans les ruches de notre abeille domestique. On y voit qu'une cellule est tantôt remplie tout entière de pâtée pollinique de coloration uniforme, tantôt de couches superposées de différentes couleurs. Jamais on ne trouve de pâtée faite de pollens divers pétris ensemble. Ceci conduit à penser d'abord que chaque butineuse se donne pour tâche d'approvisionner une cellule déterminée, à laquelle elle revient fidèlement, ensuite que, pendant un certain temps, elle ne recueille que du pollen de même sorte. On voit d'ailleurs toujours la butineuse, soit visitant les fleurs, soit rentrant chargée à la ruche, les corbeilles garnies de pelotes unicolores.

Chez les Bourdons également, c'est la règle que leurs corbeilles ne portent que de la pâtée uniforme. Une fois seulement, parmi les milliers de *Bombus* que j'ai pu capturer, j'ai eu entre les mains une ouvrière de *Derhamellus*, qui, sur une pelote de pâtée brune, venait d'étaler une mince couche blanchâtre. Mais cette exception unique n'infirme en rien une habitude manifeste.

Voici, par exemple, un fait comme il s'en rencontre fréquemment. Dans une même prairie butinent des ouvrières de *Bombus lapidarius*. Les unes fréquentent les pissenlits, qui sont très nombreux, les autres vont aux centaurées, beaucoup moins abondantes. Les deux séries de butineuses sont rigoureusement fidèles chacune à sa fleur. Les unes ont les corbeilles chargées de pâtée jaunâtre, les autres de pâtée gris sombre, ce qui permet de distinguer leur spécialité. Or, jamais une des premières ne touche à une centaurée, jamais une des secondes à un pissenlit, bien que l'une et l'autre fleur leur conviennent. Si je m'attache, par exemple, à une butineuse des centaurées, je la vois, quand elle se déplace, ne pas plus faire attention aux fleurs jaunes qu'elle rencontre qu'à des feuilles; si son vol cependant, embarrassé et incertain parfois, au milieu de la forêt d'herbes, la porte sur une de ces fleurs, elle s'en détourne, comme elle ferait d'une fleur rebutée.

Quant à la cause déterminant cette curieuse spécialisation des butineuses, qui fait que, tout le jour peut-être, chacune s'attache à une fleur déterminée, elle tient probablement au hasard des rencontres de la première sortie. La mémoire, en outre, remplit ici un rôle important. La butineuse aime à revenir aux lieux et aux fleurs qu'elle a déjà exploités et, surtout alors qu'une plante est fort à son goût, le souvenir lui en reste, même d'une journée à l'autre, et fait qu'à sa première sortie elle se porte droit là où elle compte continuer son régal de la veille. Mais ceci ne dit rien sur la cause qui fait la constance même, la raison qui empêche l'Abeille de réunir dans ses corbeilles ou ses brosses des pollens d'espèces différentes. Nous en parlerons plus loin.

Si elles sont exclusives à l'égard du pollen, les Abeilles sociales le sont beaucoup moins vis-à-vis du nectar. Elles peuvent très bien passer d'une sorte de fleur qui leur fournit miel et pollen, à une autre dont elles ne prisent que le nectar, et inversement. Le nombre des pollens que l'Abeille aime à recueillir est beaucoup plus restreint que celui des nectars qui lui plaisent. Aussi peut-on voir une abeille, un bourdon, ayant aux corbeilles une pelote de pollen, visiter des fleurs où elle ne puise que du nectar. Rencontrant une fleur dont le nectar est très apprécié par elle, elle se détourne de son occupation principale et profite de l'aubaine. De là, les allures, comme distraites et pressées, de certaines ouvrières de Bourdons, que l'on voit visiter négligemment, en passant, des fleurs dont le parfum ou la couleur les a appelées,

hummer un peu de miel, et repartir promptement, revenant à leur travail interrompu, c'est à dire à la fleur qui leur donne le pollen.

On voit donc que, tout en restant fidèle, quant au pollen, à une espèce de fleur, une abeille peut être, en somme, très inconstante, eu égard aux fleurs qu'elle visite. Et cette inconstance est assez ordinaire dans les jardins où sont réunies un grand nombre de plantes diverses, et surtout dans les jardins botaniques, où la multitude et la variété sont extrêmes. Là, les butineuses se laissent facilement aller à leur gourmandise <sup>(1)</sup> et peuvent visiter, pour leur miel, une foule de fleurs diverses.

Dans les champs, il n'en est pas ainsi d'ordinaire, et les choses se passent, le plus souvent, comme le montrent les deux séries de *Bombus lapidarius* dont nous avons parlé plus haut. En ces conditions, les *Bombus*, dont l'inconstance est « notoire », selon l'expression de F. Plateau, sont loin de mériter cette qualification, et se confinent à un fort petit nombre de plantes ou à une seule. Et là même où ils en fréquentent plusieurs, c'est souvent à une seule qu'ils demandent le pollen.

En tous ces cas où une butineuse, tout en visitant, pour leur miel, un plus ou moins grand nombre de plantes, ne tire son pollen que d'une seule, elle est *constante*, vis-à-vis de celle-ci, pour si nombreuses que puissent être les plantes qu'elle fréquente en même temps. Elle sera cependant qualifiée d'*inconstante* par l'observateur qui ne tiendra compte que des visites qu'il lui voit faire.

Constance et inconstance ne sont donc pas des qualités absolues dans une abeille, mais essentiellement relatives et dépendant des circonstances.

Dans le cas des fleurs qui, ainsi que le pavot, ne produisent pas de nectar, il faut de toute nécessité que l'abeille, avant de tirer parti de leur pollen, ait préalablement visité des fleurs à nectar, pour qu'elle

(1) J'ai peine à comprendre que F. Plateau se refuse à admettre la gourmandise chez l'abeille (*loc. cit.*, p. 79). Les apiculteurs savent bien à quel point elle préfère le miel élaboré, celui de ses rayons, au nectar des fleurs. Toute abeille se détournera sûrement de leur visite, si elle trouve dans leur voisinage du miel déposé, dont elle se gorge avidement. Elle peut de même se porter, d'une fleur qu'elle exploite, à une autre dont le nectar la sollicite vivement. Tout humain que soit le défaut de gourmandise, je ne vois pas pourquoi il ne pourrait pas se trouver chez l'abeille, comme chez tant d'autres bêtes à qui on ne songe pas à le contester.

puisse, pendant qu'elle brosse la poussière des étamines, y déverser le liquide sucré qui lui permet de la transformer en pâtée. L'observateur qui la suivra de pavot en pavot pourra donc la déclarer constante, alors que, par cela même qu'elle cultive cette plante, elle est forcément inconstante, puisqu'elle n'a pu se dispenser, avant d'y venir, de faire ailleurs sa provision de nectar.

Quant à la fréquentation simultanée de variétés différemment colorées d'une même espèce de plante, elle n'a pas, tant s'en faut, l'importance qu'on lui a donnée dans un sens ou dans l'autre. Elle s'explique assez par ce qui précède. La nature des éléments que ces variétés offrent à la butineuse est absolument la même, et pour elle c'est l'essentiel. Ce n'est pas la couleur, en soi, qui fait que l'Insecte s'adresse à la fleur. La couleur, il ne faut pas l'oublier, n'est que l'*enseigne* (Delpino). L'abeille qui butine n'est pas un être qui voit ou qui flaire, exclusivement, elle est simultanément l'un et l'autre. Venant d'une centaurée rose à une centaurée blanche de même espèce, si la couleur tendait à l'éloigner, le nectar et le pollen identiques la retiennent. Aussi lorsque, en une même station, sont mêlées diverses variétés d'une même plante, la couleur n'est plus rien, et la butineuse va sans hésiter de l'une à l'autre.

Les Abeilles solitaires sont plus exclusives que les sociales. On voit bien, assez fréquemment, ces abeilles passer d'une fleur à une autre; mais la règle ordinaire, chez elles, est la restriction à quelques espèces de plantes voisines, comme l'*Andrena Ceti*, par exemple, qui ne sort pas des Scabieuses (les *Knautia* comprises), ou même à une espèce unique, comme l'*Andrena florea*, exclusivement vouée à la Bryone.

Mais, chez ces Abeilles encore, pour ce qui est du pollen, le choix est mieux fixé, plus restreint qu'en ce qui concerne le nectar. Telle Andrène qui butine de préférence sur les *Taraxacum*, ne se prive pas de puiser dans une Renoncule le produit de ses nectaires. Mais c'est exclusivement au pissenlit qu'elle demandera le pollen (*A. fulvescens*, *Taraxaci*, *fulvago*, etc.). De telles abeilles sont oligotropes, on dirait même mieux *monotropes*, si l'expression était acceptée, puisqu'elles n'agrément que le pollen d'une plante. Chez elles, la constance, telle que je l'ai définie, est habituelle, et pour celles qui ne sortent jamais d'une espèce végétale (*Ceti*) elle est absolue.

Il n'est question en ceci que des femelles, seules chargées d'amasser

du pollen pour l'approvisionnement des cellules. Libres de ce souci, les mâles ne demandent guère aux fleurs que leur miel. Ce qu'ils leur empruntent de pollen pour leur alimentation personnelle est chose insignifiante. Aussi sont-ils, en général, plus vagabonds que les femelles et visitent-ils d'ordinaire les fleurs les plus variées. Cependant, chez les espèces dont le domaine d'exploitation des femelles est limité à un genre ou à une espèce de plantes. (*A. Ceti, florea*), les mâles sont tout aussi exclusifs que l'autre sexe.

Ce qui vient d'être dit des mâles d'abeilles solitaires s'applique également aux mâles des *Bombus*.

Quelques groupes d'abeilles solitaires paraissent moins étroitement liées à des plantes déterminées. Dans les brosses tibiales d'un *Colletes*, aussi bien que dans son jabot, dans le jabot d'un *Prosopis*, qui n'a pas d'autre récipient pour emmagasiner ses récoltes, on voit souvent du pollen de dimensions et de formes diverses. J'ai une fois vu une Cilisse (*C. melanura* K.) les brosses chargées d'une masse pollinique de couleur verdâtre, résultant du mélange de pollen bleuâtre de Salicaire avec du pollen jaune des Légumineuses que cette abeille visite habituellement.

#### En résumé :

1° La fidélité des Abeilles, en général, à une espèce de plantes n'a rien d'absolu, bien qu'elle soit très fréquente. Dans les limites où l'on peut l'observer, elle paraît en rapport avec la récolte du pollen, et nullement avec celle du nectar.

2° Elle n'existe donc que rarement chez les mâles.

3° Pour la même raison, sans doute, on ne l'observe guère chez les Hyménoptères autres que les Abeilles, malgré les préférences marquées de certaines de leurs espèces pour les plantes de groupes déterminés, plus ou moins étendus. C'est ainsi que beaucoup d'Odynères (*Vespidés*) ont un goût prononcé pour les Scrofulaires, que les Crabronites fréquentent assidûment les Ombellifères.

Quelle est la cause de la constance? La plupart des naturalistes qui se sont occupés de ce phénomène curieux de la biologie des Abeilles, le considèrent comme favorable à l'économie du temps et du travail : il facilite la récolte en rendant l'animal plus habile, par la répétition d'actes identiques. Telle est, en particulier, l'opinion de Darwin, dont



F. Plateau développe la démonstration, en y ajoutant des considérations qui lui sont propres.

Je ne sais jusqu'à quel point cette hypothèse peut être exacte. On conçoit bien, sans doute, que la répétition des mêmes actes puisse augmenter la dextérité de l'insecte qui les accomplit, d'où économie de temps et de peine. Mais, d'autre part, il y aurait économie aussi, et même plus grande, à tirer parti de toutes les fleurs qui se présentent, pourvu qu'elles soient utilisables, au lieu d'aller plus loin, assez loin parfois, chercher une fleur pareille à celle qui vient d'être quittée. Il serait plus commode, pour telle abeille qui exploite les pissenlits, mais qui ne dédaigne pas, à l'occasion, les centaurees, les renoncules et tant d'autres fleurs, de charger ses corbeilles sur toutes indistinctement, plutôt que de les éviter, pour aller chercher la seule qui, pour le moment, lui convienne.

On doit être frappé de ce fait que, s'il ne répugne pas à l'Abeille de mêler dans son jabot des nectars d'origine et de qualités diverses, elle ne se permet jamais, ou presque jamais, de réunir dans ses corbeilles ou ses brosses tibiales des pollens d'espèces différentes. Est-ce que l'homogénéité de la pâtée, qui est la conséquence de cette habitude, n'aurait pas quelque avantage?

C'est pour la larve que la pâtée est faite. La larve est sans doute moins tolérante, plus exclusive que l'adulte, dans son alimentation. Et quand la mère pourvoit à l'entretien de sa progéniture, il faut se conformer aux goûts de celle-ci. Voilà pourquoi le nombre des fleurs auxquelles l'Abeille réclame le pollen est beaucoup plus restreint que celui des fleurs dont elle prend le nectar. Le pollen est la partie substantielle et essentielle de l'aliment de la larve, et elle n'en change pas volontiers. Les Lépidoptères peuvent en donner un exemple. Telle espèce dont la chenille est apte à se nourrir des feuilles de plantes assez différentes, sur lesquelles on la trouve, ne supporte pas toujours facilement le changement de régime qui consiste à substituer à la plante où elle est née et dont elle se nourrit, une plante différente, où se sont développées d'autres chenilles de la même espèce. Il m'est arrivé le cas peu ordinaire et qui m'a bien surpris, de trouver sur un noyer une colonie de chenilles du Grand Paon de nuit, qui vivent habituellement sur le poirier, le prunier, l'ormeau. Je n'ai jamais pu faire accepter le noyer à des chenilles nées sur ces derniers arbres.

Il est donc permis de croire que c'est l'exclusivisme des larves qui fait celui des femelles récoltantes, qui fait par suite la constance.

Si l'on considère l'ensemble des Abeilles, l'oligotropisme est la règle, le polytropisme l'exception. C'est chez les Abeilles sociales que le polytropisme est le plus développé : elles sont, de toutes, les plus aptes à recueillir des pollens divers. C'est là un avantage considérable pour des abeilles vivant en société, qui sont ainsi moins exposées à souffrir de la privation d'aliments, et d'autant moins qu'elles sont plus polyphages. Ainsi est rendue possible, d'abord la permanence de ces sociétés, et ensuite le développement souvent énorme de leur population, d'où dépendent la richesse et la prospérité de la colonie.

Mais l'atavisme n'a pas cédé tout à fait devant cet agent de progrès, et il maintient encore, à un certain degré, la tendance ancestrale de la larve à la polyphagie restreinte ou à la monophagie. Et les pourvoyeuses sont obligées de se conformer plus ou moins à cette habitude atavique. De là, la constance.

Ceci, bien entendu, ne nous apprend rien sur l'état mental de la butineuse qui détermine les actes d'où la constance résulte. L'animal est tout aussi inconscient en cela que dans ses autres opérations instinctives.

### Note B.

#### *Sur les erreurs commises par les Hyménoptères visitant les fleurs.*

Afin de ne pas trop compliquer la discussion, j'ai tenu à l'écart, dans le cours de mon travail, un Mémoire récent de F. Plateau, que nous ne pouvons nous dispenser d'examiner.

Ce savant ayant fait connaître, dans une Note sur l'*Anthidium manicatum*<sup>(1)</sup>, « un grand nombre d'erreurs probablement commises par une vision peu nette des formes, » le Dr Ch. Schröder<sup>(2)</sup> crut pouvoir assurer, après expériences faites, que l'*Apis mellifica* n'était pas sujette à des erreurs semblables.

Cette assertion, d'ailleurs erronée (v. plus haut), provoqua, de la

(1) F. PLATEAU, *La Vision chez l'Anthidium manicatum* L. (Ann. de la Soc. entomolog. de Belgique, t. XLIII, 1899).

(2) Dr Eh. SCHRÖDER, *Experimentelle Studien über Blütenbesuch, besonders der Syrilla pipiens* L. (Allgem. Zeitschr. f. Entomologie, 6 B<sup>d</sup>, p. 181, 1901).

part de F. Plateau (1), un nombre considérable d'observations, ayant porté sur 107 insectes se rapportant à 7 espèces d'hyménoptères et sur des plantes fort diverses.

Les erreurs relevées par Plateau sont, en général, de la nature de celles que le lecteur a vues signalées dans le premier chapitre de ce travail, chapitre qui n'est, je tiens à le rappeler, qu'un choix restreint aux exemples qui m'ont paru les plus caractéristiques parmi ceux que j'ai recueillis. Ces erreurs consistent en le passage des insectes observés d'une fleur ou inflorescence nectarifère à une fleur épuisée ou fanée, à des boutons encore fermés, à des fruits.

Par suite de son procédé d'observation, consistant à se poster devant une plante fleurie et à noter les actes des insectes qui s'y présentent, l'auteur ne pouvait guère être témoin de passages d'une fleur à une autre d'espèce différente, de couleur pareille, mais dédaignée, faits dont l'importance n'aura pas échappé au lecteur.

Par contre, je n'ai jamais observé de faits comme ceux qu'il signale, a visite d'un fruit n'ayant avec la fleur aucune analogie de forme ni de couleur, d'un bouton non ouvert, n'ayant rien encore de la couleur de la fleur éclos.

Quoi qu'il en soit, le but de ces recherches était d'établir la fréquence de ces erreurs commises par les Hyménoptères visitant les fleurs, et aussi de réfuter l'opinion de certains naturalistes sur la netteté de la vision de ces animaux.

Le premier de ces objets fut atteint à souhait, car le nombre d'erreurs constatées fut de 186. Comme d'autre part je relève, dans le grand tableau construit par l'auteur, seulement 106 visites utiles, c'est-à-dire adressées à des fleurs ouvertes et pourvues de nectar, il s'ensuivrait que la cause, quelle qu'elle soit d'ailleurs, qui dirige ces petits êtres vers les fleurs, leur servirait principalement à commettre des erreurs. *A priori*, un tel résultat doit paraître étrange et son exactitude légitimer quelques soupçons.

Très affirmatif cependant, l'auteur parle de tentatives « nettes », « évidentes », à des fleurs fanées, à des fruits, à des boutons encore verts, même « d'essais de succion » à des fleurs fanées. Telles ne sont pas, d'après tout ce que j'ai pu observer, les allures ordinaires des

(1) F. PLATEAU, *Observations sur les Erreurs commises par les Hyménoptères visitant les fleurs* (Ann. de la Soc. ent. de Belgique, t. XLVI, 1902).

Hyménoptères devant les fleurs ou autres objets sans nectar, et par conséquent sans parfum. Un court instant suffit pour révéler l'erreur, et l'insecte s'envole. Pas de contact, le plus souvent, et il est renseigné. « Les visites des Bourdons aux fleurs fanées et aux boutons d'*Anchusa*, nous dit pourtant F. Plateau, prennent à ces insectes juste le temps de reconnaître leur erreur. » A la bonne heure! telles sont bien, en effet, leurs habitudes. Mais si l'insecte « *se pose* » sur une inflorescence en bouton, sur une fleur fanée, sur un fruit, ainsi que F. Plateau le signale mainte fois, ce n'est assurément pas pour y chercher du nectar, et le cas n'est pas à porter au nombre des erreurs commises. Et puis encore, de simples rencontres fortuites n'auront-elles pas été plus d'une fois prises pour des approches intentionnelles? Presque toutes les observations, c'est-à-dire les erreurs, ont été fournies, en effet, par l'*Apis mellifica* (46) et des Bourdons (55), soit en tout 101 sur 107. Or ces abeilles, la première surtout, sont remarquables par leur maladresse, l'imprécision de leurs mouvements, quand elles butinent sur des plantes compliquées par une multitude de fleurs ou inflorescences qui les embarrassent et gênent leurs évolutions. Je reviendrai sur ce point.

Il est donc à craindre que F. Plateau, tout « familiarisé » qu'il se dit « avec les allures des Insectes », ne se soit plus d'une fois « laissé induire en erreur ». On ne peut s'expliquer autrement le nombre considérable de fausses manœuvres qu'il a notées. Ses observations, à ce seul point de vue, ne sauraient être tenues pour définitives et méritent d'être renouvelées.

Mais quelle est la cause à laquelle il faut attribuer ces erreurs? F. Plateau la voit dans l'imperfection de la vue, dans la vision défectueuse des formes. Antérieurement à ses observations sur l'*Anthidium manicatum*, l'attraction des fleurs sur les Insectes était attribuée par le savant naturaliste exclusivement au nectar, c'est-à-dire au parfum qui en émane. Je rappellerai les propositions déjà citées :

« Ni la forme, ni les couleurs vives des capitules (*Dahlia*) ne semblent avoir d'action attractive. »

« La forme et la couleur ne paraissent pas avoir de rôle attractif : les Insectes sont évidemment guidés vers les capitules des Composées par un autre sens que la vue, sens qui est probablement l'odorat<sup>(1)</sup>.

(<sup>1</sup>) *Comment les fleurs attirent les Insectes*, 1<sup>er</sup> Mémoire, 1895.

Remarquons que si l'odorat est de mise quand il s'agit d'expliquer l'attraction des fleurs à nectar, il n'en va plus de même quand il est question de fleurs déjà visitées, de fleurs fanées, de boutons, de fruits. Quelle cause donc, en pareil cas, peut attirer les Insectes? C'est la forme, nous dit-on maintenant, mal vue, il est vrai, mais enfin la forme, dont l'intervention était niée jadis! Nous ne pouvons que prendre acte de cette contradiction, sur laquelle l'auteur a négligé de nous éclairer.

Quant à la couleur, il n'en est toujours pas question. Bien au contraire, plus que jamais F. Plateau reste fidèle à l'interdiction dont il l'a frappée dès les premiers temps. Bien qu'il ne rattache point, formellement du moins, ses observations nouvelles sur les « Erreurs » à la question débattue dans ses études antérieures, ainsi que dans les miennes, elles y sont étroitement liées, et c'est bien, au fond, la pensée de l'auteur. La preuve en est dans ce fait, qu'il ne manque pas d'insister sur tous ces cas où l'intervention de la couleur lui paraît inadmissible : la visite de boutons encore verts, de fruits verts également, ou verts maculés de brun (Salicaire), de fleurs fanées autrement colorées que les fleurs fraîches (Salicaire, *Scabiosa columbaria* etc.). Ainsi la préoccupation de la thèse dès longtemps défendue n'abandonne jamais l'auteur, préoccupation que je n'ai point d'ailleurs la prétention de blâmer, mais que je crois nécessaire de signaler.

F. Plateau eût peut-être proscrit moins absolument l'intervention de la couleur, s'il eût été témoin de faits, erreurs si l'on veut, comme ceux que j'ai cités. Quand un Sphinx va d'une Saponaire à une Achillée ou à une Carline, il semble bien plus naturel d'attribuer sa méprise à la similitude de coloration qu'à celle de la forme, même mal vue. Bien des rameaux non fleuris de la Saponaire ressemblent mieux par la forme à ses inflorescences que celles de ces plantes. Pourquoi les néglige-t-il?

Aussi, quand on lit dans la liste de F. Plateau qu'un *Bombus hortorum*, — qui, en bien des circonstances, agit comme le Sphinx, — se rend d'un capitule à fleurons périphériques jaunes à un capitule fructifère entièrement vert, on a peine à croire qu'une vision imparfaite de la forme ait pu déterminer un tel quiproquo. Heureusement, l'auteur nous dit lui-même que le Bourdon « se pose un instant sur ce capitule ». Nous comprenons alors. S'il s'est posé, ce n'est pas pour y butiner : il serait parti sans se poser, aussitôt l'absence de parfum constatée.

Ce tableau nous montre encore une abeille passant d'une fleur de citrouille fraîche à une fleur fanée. La première est une coupe largement ouverte, la seconde une sorte de cigare plissé. Bien étrange, en vérité, est l'œil qui peut voir là deux formes analogues. La couleur jaune des deux objets fournissait une explication si simple!

Non moins bizarre est l'œil qui ne saisit pas de différence entre une fleur de *Canna*, qui est un long faisceau de pétales rouges, et son fruit, qui est un gros globule brun. Il est bien difficile d'attribuer à la perception d'images aussi confuses la détermination de l'Insecte. N'est-il pas plus naturel de penser qu'il se porte sur une inflorescence un peu au hasard, plutôt que sur telle ou telle de ses parties, et qu'il y cherche ensuite les fleurs dont il profite? Et de même doit-il faire pour le *Lythrum salicaria*, car il n'y a nulle analogie de formes, pour un œil si bizarrement défectueux qu'on le conçoive, entre les corolles rosées et les fruits piquetés de brun.

Quand l'Insecte se porte sur une fleur fanée, partant sans odeur, c'est encore, nous dit-on, qu'il en voit mal la forme. La couleur n'y est pour rien. Assurément, s'il en était toujours comme de la *Scabiosa columbaria*, déjà citée, dont les fleurs fanées n'ont pas la couleur des fleurs fraîches, l'attraction de la couleur ne saurait être mise en avant, sans que pour cela, d'ailleurs, la forme mal vue fût plus explicative. Mais pareil cas est rare, et la plupart des fleurs fanées conservent plus ou moins longtemps la coloration des fleurs fraîches et souvent aussi leur forme. Ces fleurs fanées sont donc dans le cas des fleurs déjà visitées et épuisées, où la disparition du nectar n'a en rien altéré la forme ni la couleur. Telle s'offre la fleur à l'Insecte une première fois, telle il la voit la seconde, que sa vision soit exacte ou imparfaite, et ce n'est pas cette faculté qui peut l'informer si elle recèle ou non du nectar. Ces méprises sont de simples distractions, des oublis; l'être le plus intelligent y est sujet, et nous-mêmes y sommes-nous souvent exposés. Ce n'est pas une erreur que nous commettons, quand nous cherchons en un endroit un objet qui peut y être ou n'y être pas.

En tout cas, si erreur il y a de la part de l'Insecte qui aborde une fleur fanée ou déjà visitée, elle ne saurait être imputée à une vision défectueuse des formes, puisque ces formes sont les mêmes. C'est donc à tort que F. Plateau a porté les faits de cette nature dans son tableau, et le total des 186 erreurs qu'il y a relevées doit être diminué d'abord de 26 unités, afférentes aux fleurs déjà visitées, et d'une grosse part

du nombre 62, qui est celui des fleurs fanées. C'est une réhabilitation pour nos Insectes.

Pour ce qui est des boutons de fleurs fermés ou même entièrement verts, dont F. Plateau a un grand nombre de fois noté la visite (55 pour le total des boutons, sans distinction de couleur), je n'en saurais rien dire, n'ayant *jamais* rien observé de pareil. Toutes les fois que j'ai vu un insecte, Sphinx, Bourdon (voir ci-dessus) se porter vers des boutons de rosier, par exemple, ces boutons étaient gros, prêts de s'ouvrir et vivement colorés, comme les pétales de fleurs épanouies. Jamais je n'ai vu ces insectes attirés par des boutons verts, pas plus qu'ils ne le sont par des feuilles. Et cependant, pour des êtres si peu clairvoyants, des folioles de rosier ne diffèrent pas plus de boutons encore verts qu'une fleur de *Canna* ne diffère de son fruit. Je suis porté à croire que bien des exemples recueillis par Plateau étaient, ainsi que je l'ai déjà dit, des rencontres fortuites, plutôt que des approches intentionnelles. Et ceci s'entend des fruits aussi bien que des boutons.

Il n'est pas utile de poursuivre plus avant l'examen du tableau d'erreurs construit par F. Plateau. Les remarques que l'on vient de lire suffisent, je crois, pour montrer que l'explication proposée par ce savant, la vision imparfaite des formes, ne peut servir à expliquer la plupart des faits qu'il a enregistrés. J'estime, pour ma part, que, des sensations que la vue procure à l'Insecte visitant les fleurs, celle qui lui fournit le moins de renseignements, celle qui détermine le moins ses actes, c'est la perception de la forme.

En finissant, je me permettrai d'exprimer un espoir. F. Plateau, tout d'abord, n'admettait d'autre cause d'attraction des fleurs sur les Insectes que le nectar et son parfum. Sous la pression des faits, il a dû reconnaître qu'il est des cas où la direction, chez ces animaux, est déterminée par un autre sens que l'odorat. Après avoir repoussé toute intervention de la forme et de la couleur, il admet aujourd'hui un certain rôle de la première. Il est permis d'espérer que lorsqu'il aura observé des faits de la nature de ceux que j'ai fait connaître, où la vision de la forme est impuissante à rien expliquer, le savant dont j'apprécie au plus haut point les convictions et la bonne foi, apportera une nouvelle correction à son exclusivisme primitif et accordera une part à l'influence de la couleur.

# RECHERCHES

SUR

## LA RÉPARTITION MOYENNE DES PLUIES

### DANS LE DÉPARTEMENT DE LA GIRONDE

**Par M. G. RAYET**

Directeur de l'Observatoire de Bordeaux.

---

#### 2<sup>e</sup> NOTE

---

J'ai donné en 1892 une première note sur la répartition moyenne des pluies dans la Gironde, fondée sur l'étude des observations faites du 1<sup>er</sup> décembre 1881 au 30 novembre 1891 (1).

Une nouvelle période décennale s'est depuis ajoutée aux observations et il y a aujourd'hui quelque intérêt à examiner si le mode de distribution des chutes d'eau est resté le même et si, par conséquent, vingt ans sont un laps de temps suffisant pour préciser les différences qui existent entre les diverses stations au point de vue de l'intensité des pluies.

L'étude actuelle porte, d'une manière générale, sur les mêmes stations qu'en 1892; quelques stations ont bien été supprimées en 1892 même, mais elles sont peu nombreuses; d'autre part, les créations nouvelles sont en très petit nombre et elles ont toutes eu pour but de préciser quelques anomalies dans les chutes d'eau, anomalies dont l'explication ne paraissait pas certaine et facile par l'examen des circonstances locales, ou, au contraire, que le mode d'installation du pluviomètre faisait pressentir et dont il s'agissait par suite de bien démontrer l'existence et de mesurer l'intensité.

(1) *Recherches sur la distribution moyenne des pluies dans le département de la Gironde*, par M. G. RAYET, directeur de l'Observatoire de Bordeaux; 1 broch. in-8°. Bordeaux, 1892.



C'est dans cet ordre d'idées, pour étudier les observations de Col-de-Fer, que j'ai, en 1901, installé une station udométrique à l'école primaire de Lamothe-Landerron.

Le tracé des courbes d'égaies intensités de pluie dans les environs de La Réole paraît, de plus en plus, démontrer que les observations de Col-de-Fer donnent des résultats trop faibles. Ces observations, que M. Raulin (études pluviométriques) et puis moi-même (atlas des orages et atlas météorologiques de l'Observatoire de Paris) avons publiées depuis 1851 et 1865, sont obtenues depuis cinquante ans avec un udomètre placé à l'angle du toit d'une maison de garde et un long tube en plomb et en zinc conduit l'eau de l'entonnoir jusqu'au réservoir où elle doit être mesurée; il résulte de cette disposition même que les premières parties d'une faible pluie sont employées à mouiller le tube de conduite et n'arrivent pas à l'instrument de mesure. Les nombres de Col-de-Fer doivent donc être trop faibles et ils ont été faibles de tout temps. Le pluviomètre de Col-de-Fer est encore aujourd'hui identique à ce qu'il a été à l'époque de son installation.

Plus tard, des observations furent instituées à La Réole même par M. le pharmacien Estève sur le toit de la maison qu'occupait sa pharmacie. On sait que les pluviomètres placés sur le sommet d'un édifice donnent des résultats trop forts ou trop faibles, suivant des remous de vent dont l'action est difficile à étudier.

Quoi qu'il en soit, les résultats des observations de M. Estève furent généralement d'accord avec ceux de Col-de-Fer et il fut séduisant d'en conclure que les deux séries étaient exactes; c'est ce qui a été fait jusqu'ici.

Mais l'installation d'une ferme-école dans la région de La Réole, d'abord à Machorre et puis ensuite dans les environs plus immédiats de cette sous-préfecture, ont permis de faire pendant quelques mois des observations dans l'un et l'autre de ces points. Ces dernières mesures udométriques ont incontestablement montré que les nombres de Col-de-Fer doivent être multipliés par 1,3 environ, et c'est pour déterminer ce coefficient, variable avec les saisons, que la station de Lamothe-Landerron vient d'être créée.

Dans les 32 séries d'observations dont je donnerai ici le résumé, pour les années 1892-1901, il n'y a que peu de lacunes, et ces lacunes ont été comblées à l'aide de la remarque ancienne que dans un pays

peu accidenté, comme la Gironde, le rapport des quantités de pluie qui tombent en moyenne dans deux localités voisines est sensiblement constant.

Cette constance s'étend à un grand nombre d'années; ainsi, pour les stations de la pointe landaise du Médoc, on arrive aux résultats suivants :

COMPARAISON DES QUANTITÉS DE PLUIE TOMBÉES A SAINT-NICOLAS, GRAND-MONT, HOURTIN, MOUTCHIC, GRESSIER, LE PORGE, AVEC CELLE TOMBÉE AU PHARE DE GRAVE.

I<sup>re</sup> SÉRIE. — 1882-1891.

	Hiver	Printemps	Été	Automne	ANNÉE
Saint-Nicolas. . . . .	1,04	1,08	0,99	1,03	1,04
Grand-Mont . . . . .	1,07	1,11	1,12	1,07	1,09
Hourtin. . . . .	1,03	1,06	0,96	1,01	1,02
Moutchic. . . . .	1,16	1,20	1,17	1,10	1,15
Gressier. . . . .	1,12	1,18	1,05	1,04	1,09
Le Porge. . . . .	1,28	1,34	1,24	1,16	1,24

II<sup>me</sup> SÉRIE. — 1892-1901.

	Hiver	Printemps	Été	Automne	ANNÉE
Saint-Nicolas. . . . .	0,91	0,97	0,94	0,92	0,93
Grand-Mont . . . . .	1,04	1,13	1,05	1,05	1,06
Hourtin. . . . .	0,91	1,01	0,88	0,94	0,93
Moutchic. . . . .	1,02	1,01	0,94	1,04	1,01
Gressier. . . . .	1,01	1,00	0,98	0,97	0,99
Le Porge. . . . .	1,10	1,06	1,04	1,07	1,08

Les nombres des deux séries sont très voisins et leurs variations s'expliquent facilement par une augmentation relative de la quantité de pluie au phare de Grave.

La diminution de ces rapports avec le temps est d'ailleurs presque régulière, ainsi que cela résulte des deux séries de chiffres suivantes qui se rapportent à deux stations non encore considérées :

COMPARAISON DES PLUIES DE SAINT-NICOLAS ET DE GRAND-MONT  
A CELLES D'HOURTIN

STATION DE SAINT-NICOLAS				STATION DE GRAND-MONT			
Années	Quotient	Années	Quotient	Années	Quotient	Années	Quotient
1882	0,95	1892	1,02	1882	1,04	1892	1,20
1883	1,08	1893	1,14	1883	1,04	1893	1,19
1884	0,96	1894	1,12	1884	0,93	1894	1,09
1885	0,99	1895	0,98	1885	1,04	1895	1,12
1886	0,93	1896	1,08	1886	0,95	1896	1,09
1887	1,05	1897	1,09	1887	1,00	1897	1,09
1888	1,03	1898	0,95	1888	1,16	1898	1,36
1889	1,08	1899	0,86	1889	1,16	1899	1,11
1890	1,09	1900	0,83	1890	1,26	1900	1,01
1891	1,09	1901	0,92	1891	1,19	1901	1,18
	1,02		1,00		1,07		1,14

A Saint-Nicolas, l'Océan qui ronge activement le rivage rapproche chaque jour le pluviomètre du sommet de la dernière dune et d'une pente raide de 50 à 60 mètres de hauteur; cette variation de la forme du sol paraît n'avoir jusqu'ici produit aucun effet bien sensible.

A Grand-Mont, une vaste coupe sombre qui a été faite en 1897 et 1898 dans les dunes qui séparent la station de la mer a augmenté brusquement la quantité de pluie de cette station; depuis, les chiffres diminuent et se rapprochent des résultats antérieurs.

Quoi qu'il en soit, il résulte certainement de l'ensemble des discussions précédentes que dans un pays peu accidenté le rapport des quantités de pluies qui tombent en deux points voisins est constant et que la connaissance de ce rapport peut servir à compléter les courtes lacunes que présentent parfois les séries d'observations.

C'est en suivant ce procédé qu'ont été formés les tableaux suivants relatifs à 32 stations de la Gironde.

Comme je l'ai fait dans chacun des rapports annuels présentés chaque année à la Commission météorologique départementale, les résultats des observations pluviométriques qui suivent, et sont relatifs

à l'année entière et aux différentes saisons, ont été transportés sur une carte muette de la Gironde et ont ensuite permis le tracé des courbes isopluiométriques; ce tracé a été en général facile (les observations de Col-de-Fer ayant été approximativement corrigées), et ceci est une démonstration dernière de l'exactitude des nombres fournis par les observateurs.

Quoique la période 1892-1901 soit une période relativement sèche, les courbes de la distribution annuelle des pluies ont conservé la même forme que pour la décade précédente; seulement l'augmentation de pluie du nord au sud du département est moindre que dans une période humide.

Il résulte d'ailleurs de l'examen de cette carte que :

1° Dans la partie du département de la Gironde comprise entre le fleuve et l'Océan, la quantité de pluie croît rapidement du Nord au Sud et que cette croissance se prolonge jusqu'aux Pyrénées;

2° Il y a un maximum de pluie bien marqué au voisinage de la ligne de partage des eaux entre l'Océan et la Garonne ou la Gironde; c'est ce qu'indique la forme des courbes d'égale pluviosité, sur le Médoc et la Lande, dont tous les sommets sont dirigés vers le nord;

3° Un minimum relatif de pluie existe sur les rives de la Gironde et de la Garonne;

4° La quantité de pluie diminue lorsqu'on remonte le cours de la Dordogne au-dessus de Libourne et de Saint-Émilion;

5° Il y a un maximum relatif de pluie sur les hauts plateaux du Bourgeais, sur la rive droite de l'Isle et de la Dronne.

Les cartes des saisons relativement pluvieuses, celles de l'hiver et du printemps, ont une ressemblance marquée avec celle de l'année entière. Les pluies sont des pluies générales dépendant de perturbations atmosphériques étendues, et parfois intenses, dont la marche n'est pas influencée par la topographie du sol.

Avec l'été, les phénomènes locaux, tels que les orages, prennent une importance relative considérable et la distribution des pluies est irrégulière tout en conservant cependant les caractères généraux de la distribution annuelle.

En automne, les pluies deviennent de nouveau abondantes et générales; avec les tempêtes d'équinoxe l'hiver commence et la répartition des chutes d'eau est voisine de la répartition annuelle.

En résumé, l'étude des dix dernières années d'observations pluviométriques montre qu'il y a quelques différences légères dans leur mode de distribution pendant les périodes sèches ou humides ; mais ces différences sont assez réduites pour que les lois générales de cette distribution ne soient pas changées.

(Octobre 1902.)



ANNÉE météorologique	LA COUBRE					PHARE DE GRAVE				
	Hiver	Printemps	Été	Automne	ANNÉE	Hiver	Printemps	Été	Automne	ANNÉE
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1892	220,0	85,5	92,5	320,5	718,5	247,7	98,3	123,6	321,2	790,8
1893	193,8	63,1	64,4	253,5	574,8	205,7	68,5	62,1	358,9	635,2
1894	145,8	121,2	121,1	138,9	527,0	177,9	178,8	143,0	171,6	671,3
1895	132,9	114,3	147,3	271,1	665,6	150,7	193,8	222,7	381,1	951,3
1896	168,0	40,2	174,4	338,5	721,1	246,5	89,0	234,6	446,6	1046,7
1897	230,6	193,1	149,8	99,4	672,9	315,2	324,6	253,8	125,5	1019,1
1898	160,4	119,7	16,1	186,0	482,2	166,3	134,8	37,1	308,8	647,0
1899	144,0	82,6	84,3	250,6	570,5	219,9	115,6	98,0	237,9	671,4
1900	237,2	126,7	138,2	157,8	659,9	351,3	161,9	136,8	231,4	881,4
1901	160,6	119,6	162,4	153,9	605,5	236,2	154,5	213,0	217,5	821,2
MOYENNE...	180,2	106,6	115,1	217,9	619,8	231,7	152,0	152,5	280,3	816,5

ANNÉE météorologique	SAINT-NICOLAS					GRAND-MONT				
	Hiver	Printemps	Été	Automne	ANNÉE	Hiver	Printemps	Été	Automne	ANNÉE
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1892	230,2	92,3	154,1	319,7	856,3	334,2	120,7	186,9	362,5	1004,3
1893	234,4	86,4	103,8	307,5	733,1	272,9	82,3	130,6	348,6	834,4
1894	181,7	165,9	128,5	170,9	647,0	105,1	165,5	123,7	149,1	633,1
1895	121,9	150,7	165,2	272,3	710,1	144,8	138,7	182,1	350,0	815,6
1896	208,3	80,9	233,1	491,5	1013,8	213,8	102,3	180,8	512,1	1019,0
1897	256,1	313,6	197,9	148,5	916,1	229,2	334,6	202,9	145,0	911,7
1898	129,0	167,8	77,5	297,8	672,1	240,4	212,4	100,3	412,0	965,1
1899	169,6	92,5	80,4	146,4	488,9	177,9	129,1	123,2	207,1	636,3
1900	308,4	177,9	137,8	203,9	828,0	362,2	218,2	179,7	243,2	1003,3
1901	195,9	150,8	155,9	165,7	668,3	243,3	203,5	179,2	225,3	851,3
MOYENNE...	209,6	148,2	143,4	258,4	759,6	241,4	170,7	159,8	295,5	867,4

# Résumé des Observations pluviométriques de la Gironde (1892-1901). — Suite.

ANNÉE météorologique	PHARES D'HOURTIN					MOUTCHIC				
	Hiver	Printemps	Été	Automne	ANNÉE	Hiver	Printemps	Été	Automne	ANNÉE
1892	284,4	96,4	158,5	237,7	837,0	304,8	118,8	162,1	362,1	947,8
1893	169,5	52,4	84,4	392,1	698,4	239,2	56,5	91,9	479,1	866,7
1894	199,4	154,5	104,1	118,9	576,9	203,1	132,7	124,9	153,4	631,1
1895	138,6	158,1	156,6	271,5	721,8	187,2	171,9	220,8	324,3	904,2
1896	186,9	126,5	183,4	437,0	936,8	206,6	105,6	208,8	478,5	999,5
1897	221,9	201,5	173,0	413,0	839,4	251,5	260,0	140,2	129,2	780,9
1898	152,4	143,6	56,1	357,1	709,2	166,1	181,5	89,2	271,3	708,1
1899	170,7	113,3	96,7	191,2	571,9	138,7	98,2	106,0	201,7	544,6
1900	367,4	217,8	161,3	246,0	992,5	435,3	197,7	137,0	244,0	1014,0
1901	207,5	180,7	162,2	173,1	723,5	224,0	194,2	148,7	280,8	847,7
MOYENNE...	209,9	153,5	133,9	263,7	761,0	235,7	153,7	143,0	292,4	824,8

ANNÉE météorologique	GRESSIER					LE PORGE				
	Hiver	Printemps	Été	Automne	ANNÉE	Hiver	Printemps	Été	Automne	ANNÉE
1892	333,7	135,3	173,0	325,0	967,0	321,9	137,3	170,3	366,2	985,7
1893	241,0	45,8	98,4	420,5	800,7	238,2	49,2	110,1	479,6	877,1
1894	204,3	206,8	105,7	126,5	647,3	223,6	223,9	112,8	169,2	729,5
1895	192,8	158,2	196,4	284,2	831,6	217,0	175,6	151,9	290,1	834,6
1896	193,2	118,5	278,3	485,9	1075,9	209,7	126,3	299,2	515,5	1150,7
1897	245,8	245,1	183,7	122,2	746,8	301,8	290,9	194,4	139,3	926,4
1898	177,7	130,0	74,9	292,4	675,0	193,1	140,4	73,0	358,8	765,3
1899	136,1	108,7	120,7	148,1	513,6	153,2	109,0	150,2	146,6	559,0
1900	399,9	207,6	160,6	237,9	1006,0	428,7	248,9	166,0	253,0	1036,6
1901	226,1	169,9	153,2	269,5	818,7	258,1	220,8	159,1	289,6	927,6
MOYENNE...	235,5	152,6	149,0	271,2	808,3	254,5	162,2	153,7	300,8	886,2

## Résumé des Observations pluviométriques de la Gironde (1892-1901). — Suite.

ANNÉE météorologique	ARÈS					PIQUEY				
	Hiver mm	Printemps mm	Été mm	Automne mm	ANNÉE mm	Hiver mm	Printemps mm	Été mm	Automne mm	ANNÉE mm
1892	303,6	132,8	192,4	412,1	1010,6	276,5	134,5	179,6	384,6	955,2
1893	260,5	46,6	192,6	438,5	838,2	202,0	39,9	74,6	397,9	714,4
1894	230,0	248,1	120,0	163,0	751,1	160,5	187,8	110,1	149,8	608,2
1895	256,4	163,3	185,8	230,6	836,1	228,5	138,7	182,1	203,5	752,8
1896	192,1	138,8	261,5	545,3	1137,7	181,1	141,0	240,0	509,1	911,2
1897	262,0	245,5	177,1	146,6	851,2	218,5	234,0	157,5	139,3	749,3
1898	191,6	140,1	81,7	308,9	722,3	162,5	152,2	68,7	266,1	649,5
1899	162,8	114,7	117,8	172,1	567,4	142,6	84,0	127,4	122,9	476,9
1900	442,8	253,1	269,9	268,6	1174,4	378,4	235,8	186,4	285,1	1085,7
1901	246,0	203,4	166,5	217,7	833,6	212,4	188,1	119,5	227,1	747,1
MOYENNE...	253,8	170,6	160,5	290,3	875,2	214,3	157,6	144,6	268,5	778,0

ANNÉE météorologique	ARCACHON					AUDENGE				
	Hiver mm	Printemps mm	Été mm	Automne mm	ANNÉE mm	Hiver mm	Printemps mm	Été mm	Automne mm	ANNÉE mm
1892	275,1	145,5	202,1	336,4	959,1	292,5	123,4	188,6	342,4	946,9
1893	244,9	53,9	90,8	425,2	814,8	287,9	35,7	119,7	511,5	954,8
1894	181,7	212,9	119,5	168,1	682,2	219,7	237,5	134,3	174,8	706,3
1895	292,7	152,8	223,8	259,2	928,5	255,1	160,6	219,0	250,7	885,4
1896	146,6	137,9	238,4	532,1	1055,0	190,2	159,6	252,6	509,7	1112,1
1897	243,5	241,2	176,5	148,6	809,8	277,0	278,7	223,7	144,9	924,3
1898	169,3	144,1	73,0	259,3	645,7	191,5	165,1	74,5	296,2	730,3
1899	138,8	432,2	122,1	113,2	506,3	160,6	142,5	197,2	126,3	626,6
1900	333,4	236,7	203,5	224,8	1053,4	409,4	252,1	188,0	251,4	1100,9
1901	218,8	195,2	124,6	262,0	800,6	251,3	210,2	198,6	239,0	902,1
MOYENNE...	230,5	165,2	157,4	272,9	826,0	254,1	176,5	179,6	281,7	894,9



## Résumé des Observations pluviométriques de la Gironde (1892-1901). — Suite.

ANNÉE météorologique	CAZAUX					LA SALIE				
	Hiver	Printemps	Été	Automne	ANNÉE	Hiver	Printemps	Été	Automne	ANNÉE
1892	mm 312,5	mm 147,5	mm 206,3	mm 382,9	mm 1049,2	mm 263,7	mm 119,5	mm 187,7	mm 298,5	mm 875,4
1893	» 256,1	» 58,4	» 122,4	» 506,6	» 943,5	» 209,5	» 64,7	» 85,0	» 413,8	» 773,0
1894	» 247,9	» 202,8	» 120,6	» 180,3	» 751,6	» 213,3	» 172,7	» 101,2	» 146,0	» 633,2
1895	» 280,8	» 169,1	» 233,9	» 273,5	» 957,3	» 281,3	» 162,2	» 214,0	» 248,9	» 906,4
1896	» 196,4	» 118,2	» 310,3	» 572,3	» 1197,2	» 160,8	» 140,9	» 248,7	» 352,7	» 1103,1
1897	» 263,0	» 276,9	» 223,3	» 115,5	» 878,7	» 271,1	» 226,3	» 119,1	» 275,9	» 873,4
1898	» 190,7	» 161,2	» 90,2	» 288,9	» 731,0	» 183,8	» 161,2	» 94,2	» 275,9	» 715,1
1899	» 158,5	» 108,5	» 150,5	» 160,2	» 577,7	» 154,7	» 92,9	» 175,1	» 111,8	» 534,5
1900	» 434,9	» 273,7	» 176,9	» 279,1	» 1164,6	» 407,1	» 254,9	» 189,7	» 231,9	» 1083,6
1901	» 226,9	» 245,8	» 221,2	» 318,9	» 1012,8	» 210,6	» 190,1	» 133,4	» 333,2	» 847,3
MOYENNE...	» 256,8	» 176,2	» 185,6	» 307,8	» 926,4	» 236,2	» 161,5	» 165,6	» 273,2	» 836,5

ANNÉE météorologique	CHATEAU-LAFITE					SAINT-JULIEN				
	Hiver	Printemps	Été	Automne	ANNÉE	Hiver	Printemps	Été	Automne	ANNÉE
1892	mm »	mm »	mm »	mm »	mm »	mm 263,2	mm 85,2	mm 117,3	mm 271,0	mm 736,7
1893	» »	» »	» »	» »	» »	» 244,6	» 64,6	» 87,1	» 370,8	» 764,1
1894	» »	» »	» 155,9	» 123,8	» 874,2	» 160,4	» 180,6	» 159,3	» 152,0	» 632,3
1895	» 160,6	» 223,1	» 161,8	» 328,7	» 972,9	» 155,5	» 229,8	» 178,4	» 302,2	» 865,9
1896	» 202,5	» 113,9	» 253,6	» 402,9	» 1063,0	» 103,5	» 131,0	» 236,8	» 371,4	» 922,7
1897	» 286,2	» 409,3	» 202,1	» 165,4	» 731,8	» 267,1	» 377,1	» 191,3	» 161,7	» 734,1
1898	» 185,8	» 121,1	» 85,1	» 318,2	» 625,3	» 183,8	» 178,8	» 75,1	» 236,4	» 937,2
1899	» 207,7	» 121,1	» 87,8	» 208,7	» 967,0	» 184,2	» 113,4	» 103,7	» 197,0	» 598,3
1900	» 366,3	» 206,0	» 145,7	» 249,0	» 822,9	» 329,4	» 192,6	» 167,4	» 211,8	» 901,2
1901	» 240,0	» 212,0	» 164,0	» 186,9	» 822,9	» 233,1	» 212,7	» 154,9	» 145,8	» 746,5
MOYENNE...	» »	» »	» »	» »	» »	» 221,2	» 176,6	» 145,1	» 248,0	» 791,9

## Résumé des Observations pluviométriques de la Gironde (1892-1901). — Suite.

ANNÉE météorologique	SAINTÉ-HELENE					PIERROTTON				
	Hiver	Printemps	Été	Automne	ANNÉE	Hiver	Printemps	Été	Automne	ANNÉE
1892	330,5	110,6	105,7	283,4	830,2	293,2	148,3	198,3	319,5	959,3
1893	240,2	56,4	112,1	454,8	863,5	267,4	53,1	103,7	463,2	887,4
1894	229,3	194,1	130,8	169,6	723,8	204,7	250,9	142,9	170,5	769,0
1895	187,7	210,7	231,6	304,2	934,2	251,3	215,1	178,1	246,4	890,9
1896	191,8	180,9	263,3	475,4	1111,4	185,9	165,5	320,7	460,0	1132,1
1897	301,3	339,5	187,2	129,7	957,7	296,9	336,1	202,8	150,1	985,9
1898	187,1	167,9	93,1	248,6	636,7	209,6	244,4	65,6	261,7	781,3
1899	170,8	122,6	116,9	185,9	596,2	179,9	151,4	113,1	112,1	556,5
1900	356,2	185,0	138,3	222,5	902,0	381,6	263,7	121,3	197,2	963,8
1901	233,1	246,8	162,9	227,6	870,4	252,1	213,7	192,3	264,4	952,5
MOYENNE...	242,8	181,4	160,2	270,2	854,6	252,3	207,2	163,9	264,8	888,2

ANNÉE météorologique	BELIN					CAVIGNAC				
	Hiver	Printemps	Été	Automne	ANNÉE	Hiver	Printemps	Été	Automne	ANNÉE
1892	253,3	178,3	234,5	314,7	980,8	253,4	102,8	189,2	244,4	791,8
1893	247,3	49,1	157,2	385,1	838,7	237,2	75,4	117,6	426,6	846,8
1894	172,9	196,0	121,4	145,9	636,2	174,8	243,6	154,3	157,4	730,1
1895	254,6	192,0	183,5	246,9	877,0	149,1	211,7	198,2	271,8	860,8
1896	169,9	120,8	270,3	469,3	1030,3	176,2	116,4	270,8	366,9	930,3
1897	256,6	299,7	166,3	120,2	842,8	276,2	390,3	196,8	171,3	1031,6
1898	180,3	219,9	91,3	259,8	751,3	176,3	208,0	99,3	265,2	748,8
1899	133,6	148,4	206,9	123,9	612,8	183,6	127,4	93,8	155,8	562,6
1900	300,6	243,2	140,4	267,9	1042,1	328,6	197,3	147,0	193,4	866,3
1901	254,5	269,7	184,0	175,8	984,0	218,4	217,8	196,8	226,5	859,5
MOYENNE...	231,1	191,7	175,6	260,9	859,6	216,8	192,1	166,4	217,9	823,2

# Résumé des Observations pluviométriques de la Gironde (1892-1901). — Suite.

ANNÉE météorologique	SAINT-ANDRÉ-DE-CUBZAC					FLOIRAC (OBSERVATOIRE)				
	Hiver	Printemps	Été	Automne	ANNÉE	Hiver	Printemps	Été	Automne	ANNÉE
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1892	196,1	108,5	146,9	257,3	708,8	177,5	119,3	141,0	275,4	713,2
1893	153,0	58,4	119,9	400,8	732,1	193,7	55,6	98,3	373,1	720,7
1894	135,3	179,3	120,1	125,6	560,3	129,0	188,4	152,8	125,6	595,8
1895	159,5	161,6	163,7	198,6	683,4	161,4	207,7	174,9	225,3	772,3
1896	146,9	122,2	294,2	299,6	862,9	148,1	121,8	287,0	349,8	906,7
1897	216,3	39,1	150,9	123,5	790,8	245,4	307,5	161,9	111,5	830,3
1898	144,2	181,3	96,2	224,6	651,3	137,8	214,0	118,3	265,8	675,9
1899	164,6	110,2	148,4	102,3	525,5	151,4	117,1	105,5	121,8	495,8
1900	309,2	159,6	128,5	170,5	767,8	308,6	181,2	143,3	155,0	791,1
1901	205,4	197,6	146,2	268,2	817,4	190,0	175,0	113,4	240,8	768,2
MOYENNE...	183,0	159,3	151,5	217,1	710,9	185,5	169,1	154,0	218,4	727,0

ANNÉE météorologique	TALENCE (JARDIN BOTANIQUE)					LA SAUVE				
	Hiver	Printemps	Été	Automne	ANNÉE	Hiver	Printemps	Été	Automne	ANNÉE
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1892	209,0	151,4	144,6	306,2	811,2	190,9	122,6	167,0	213,7	724,2
1893	214,0	49,5	109,3	382,4	755,2	190,8	53,9	137,9	313,0	685,6
1894	128,2	164,0	102,2	116,4	510,8	92,1	172,2	149,6	129,4	543,3
1895	170,3	212,8	188,9	266,2	838,2	135,2	174,9	218,2	225,7	754,0
1896	200,3	126,5	282,2	361,8	971,8	150,1	136,8	198,3	328,8	814,0
1897	269,2	281,5	197,8	113,1	861,6	251,0	285,0	140,2	107,6	786,8
1898	156,1	218,1	76,4	225,4	676,0	141,3	231,8	91,4	208,5	679,0
1899	178,9	136,1	112,8	120,3	548,1	142,9	143,1	99,5	117,8	503,3
1900	351,8	199,8	181,3	189,2	921,1	250,0	137,3	129,8	178,4	686,5
1901	245,7	177,1	160,0	257,3	840,1	220,0	200,6	178,5	233,1	832,2
MOYENNE...	212,6	171,7	155,7	235,7	775,7	177,0	165,8	150,5	210,6	703,9

Résumé des Observations pluviométriques de la Gironde (1892-1901). — Suite.

ANNÉE météorologique	BUDOS					LES ÉGLISOTTES				
	Hiver	Printemps	Été	Automne	ANNÉE	Hiver	Printemps	Été	Automne	ANNÉE
1892	196,2	112,3	214,9	218,4	741,8	232,7	94,4	142,2	248,1	717,4
1893	245,8	68,4	111,9	274,0	700,1	218,0	59,7	160,2	301,4	739,3
1894	128,6	200,8	141,1	117,8	588,3	148,9	232,7	191,1	141,6	714,3
1895	219,8	196,4	178,2	239,8	831,2	161,2	192,0	209,5	197,1	759,8
1896	162,7	142,6	221,2	360,3	894,8	158,2	112,0	257,5	404,7	932,4
1897	277,3	319,1	178,2	107,0	881,6	272,9	335,4	192,5	134,9	936,7
1898	134,8	194,3	99,6	184,5	613,2	140,1	156,2	73,8	181,3	551,4
1899	160,4	148,5	136,1	94,1	539,1	174,5	117,7	114,5	156,3	563,0
1900	344,4	183,4	124,3	243,9	806,0	303,6	113,8	134,6	193,4	745,4
1901	247,4	240,4	215,1	166,7	849,6	198,2	206,7	173,9	230,0	817,8
MOYENNE...	211,7	180,6	162,9	200,7	755,9	200,8	162,1	165,0	219,8	747,7

ANNÉE météorologique	LUSSAC					SAINT-ÉMILION				
	Hiver	Printemps	Été	Automne	ANNÉE	Hiver	Printemps	Été	Automne	ANNÉE
1892	193,7	113,1	153,0	242,6	702,4	152,6	154,5	136,2	119,9	676,9
1893	194,5	30,3	110,7	306,4	650,9	122,5	121,4	181,6	188,2	871,7
1894	124,4	253,6	173,3	123,0	674,3	237,0	303,0	268,8	359,0	850,3
1895	138,3	176,6	168,0	184,4	667,3	131,6	179,6	190,7	119,6	578,2
1896	147,6	119,8	251,1	318,3	806,8	158,8	118,3	88,8	183,2	516,1
1897	247,0	288,8	200,7	127,7	864,2	266,2	244,6	147,5	121,5	743,3
1898	142,1	188,0	74,2	185,6	589,9	175,2	138,6	143,6	184,9	819,4
1899	171,4	132,3	132,2	114,7	550,6					
1900	220,7	116,9	129,0	171,1	640,7					
1901	187,1	201,0	216,1	239,5	843,7					
MOYENNE...	173,7	163,0	160,8	201,6	690,1					

# Résumé des Observations pluviométriques de la Gironde (1892-1901). — Suite.

SAUVETERRE						COL-DE-FER					
ANNÉE météorologique	Hiver	Printemps	Été	Automne	ANNÉE	Hiver	Printemps	Été	Automne	ANNÉE	
1892	190,2	140,3	179,8	208,7	719,0	132,1	151,5	164,5	191,1	639,2	
1893	200,6	40,6	161,3	244,7	647,2	181,7	49,8	109,6	188,0	529,1	
1894	118,8	176,9	144,3	216,5	556,5	97,7	163,9	161,8	126,4	549,8	
1895	131,4	280,2	193,6	214,3	756,5	163,7	232,6	165,0	226,5	787,8	
1896	140,1	121,6	247,3	310,5	819,5	115,9	100,4	242,0	247,7	706,0	
1897	269,9	287,2	194,3	115,2	886,6	202,1	231,6	153,4	89,2	676,3	
1898	147,6	206,0	113,8	172,5	639,9	100,0	190,3	73,9	105,2	469,4	
1899	118,6	145,3	101,9	89,6	455,4	100,4	96,0	210,4	74,7	481,5	
1900	277,9	147,5	114,5	224,2	761,1	224,2	152,9	115,5	209,2	701,8	
1901	219,5	187,2	172,8	178,6	758,1	116,4	133,6	125,4	108,2	483,6	
MOYENNE...	181,5	167,3	162,0	187,2	698,0	143,4	150,3	152,2	156,6	602,5	

GRIGNOLS						CAPTIEUX					
ANNÉE météorologique	Hiver	Printemps	Été	Automne	ANNÉE	Hiver	Printemps	Été	Automne	ANNÉE	
1892	168,1	149,5	198,1	172,6	688,3	171,4	179,4	240,4	207,4	736,6	
1893	196,5	52,6	132,0	267,7	648,8	200,1	71,0	111,4	296,0	678,5	
1894	117,4	192,9	203,0	134,4	647,7	129,8	217,8	212,4	146,5	706,5	
1895	194,1	287,4	151,3	202,2	835,0	229,5	254,3	123,8	171,2	778,8	
1896	173,3	170,5	221,9	269,0	864,7	140,3	128,6	272,2	333,2	874,3	
1897	286,2	345,0	182,3	108,2	921,7	292,1	296,8	241,1	105,4	937,4	
1898	136,1	251,2	106,9	139,9	625,1	155,2	246,3	88,8	166,0	656,3	
1899	132,0	144,1	195,8	84,0	555,9	145,1	181,4	251,2	67,9	645,6	
1900	329,2	163,1	131,8	268,2	892,3	313,1	184,8	136,1	260,3	894,3	
1901	231,2	243,9	156,1	180,0	801,2	213,7	256,5	205,2	205,3	880,7	
MOYENNE...	195,4	200,0	167,9	184,7	748,0	199,0	201,9	188,3	195,9	785,1	

## Résumé des Observations pluviométriques de la Gironde (1892-1901). — Suite.

ANNÉE météorologique	SAINT-ANTOINE-SUR-L'ISLE					SAINT-AVIT-DU-MOIRON				
	Hiver	Printemps	Été	Automne	ANNÉE	Hiver	Printemps	Été	Automne	ANNÉE
1892	119,9	83,0	140,1	209,2	551,3	146,8	104,0	155,2	197,3	603,3
1893	157,2	69,4	166,0	270,7	663,3	158,6	54,3	208,7	195,8	617,4
1894	115,1	229,1	181,0	123,6	648,8	158,7	228,4	147,9	115,9	650,9
1895	119,8	189,6	187,7	173,3	670,4	213,2	242,6	225,8	201,4	883,0
1896	112,7	86,5	228,8	280,6	708,6	124,8	142,1	235,6	307,0	829,5
1897	179,5	28,6	156,0	117,5	742,6	280,6	380,6	197,1	150,8	1009,1
1898	93,5	160,3	71,0	154,6	479,3	109,4	266,1	119,2	147,8	642,5
1899	129,3	108,6	94,0	129,3	461,2	142,9	117,8	164,8	91,7	517,2
1900	232,3	101,1	123,9	167,6	624,9	242,1	126,3	140,6	193,7	702,7
1901	144,7	160,9	151,5	204,0	661,1	160,9	191,8	167,4	161,7	681,8
MOYENNE....	140,3	147,8	150,0	183,0	621,1	173,8	185,4	178,2	176,3	713,7



# SUR LES ÉTHERS DU VIN

**Par M. U. GAYON**

**DOYEN DE LA FACULTÉ DES SCIENCES DE BORDEAUX**

Les propriétés organoleptiques d'un vin, saveur, arôme, bouquet, tiennent à des causes multiples, dont les trois principales, depuis longtemps signalées, sont : les huiles essentielles existant dans le raisin, les produits analogues aux aldéhydes résultant d'une oxydation lente des principes solubles et les éthers formés par réactions des acides sur l'alcool ordinaire et sur ses homologues supérieurs.

Dans l'état actuel de la science, il est difficile de faire la part exacte de chacun de ces facteurs, et, en particulier, de déterminer la nature et la dose de ceux des éthers qui jouent réellement un rôle dans le développement des qualités d'un vin.

Mais, si l'on ne peut séparer et analyser les éthers vraiment actifs, et dont la proportion paraît d'ailleurs très faible, on peut du moins étudier les éthers en bloc et rechercher comment ils varient avec l'origine, l'âge et le degré de conservation ou d'altération du liquide. Tel est le but de ce travail, en ce qui concerne spécialement les vins de la Gironde.

L'analyse d'une solution éthérée simple se fait avec précision par la méthode habituelle; on la fait bouillir avec un poids connu de potasse ou de soude et, quand la saponification est achevée, on détermine ce qui reste d'alcali libre; on en déduit, par différence, le poids d'acide équivalent à l'éther existant.

Dans le cas d'un liquide complexe et coloré comme le vin, il vaut mieux préalablement séparer les éthers par distillation.

Les éléments constitutifs du bouquet passent avec l'alcool dans les premiers produits condensés; ils diminuent dans les produits suivants



et cessent bientôt d'être perceptibles, bien qu'en continuant l'opération on recueille encore de nouveaux éthers.

Ceux-ci, malgré leur volatilité, sont difficilement entraînés d'une manière complète. Ainsi en partant de 1100° et distillant par fractions de 100°, on a obtenu successivement, avec deux vins différents, les nombres suivants :

Tableau I.

	Volumen distillés	Éthers par litre en $\text{SO}^4\text{H}^2$	
		N° 1	N° 2
		gr	gr
1	100	0,122	0,196
2	100	0,036	0,022
3	100	0,034	0,019
4	100	0,032	0,018
5	100	0,022	0,013
6	100	0,019	0,010
7	100	0,014	0,008
8	100	0,012	0,007
9	100	0,014	0,008
10	100	0,016	0,013
		0,321	0,314

Il est passé beaucoup plus d'éthers dans le premier liquide recueilli que dans les suivants, mais on en retrouve jusque dans les dernières fractions, et il en reste encore dans les résidus, car si on ajoute de l'eau, et si on redistille, on en sépare de nouveau de notables quantités.

Il en est comme des acides volatils qui, en solution étendue, ne distillent qu'en partie, même, comme l'a montré M. Duclaux, lorsqu'on recueille les dix onzièmes du volume initial.

Pour obtenir une séparation complète, il faut au moins quatre distillations successives. C'est ainsi, par exemple, qu'en partant de 110°, recueillant 100° et ramenant chaque fois le volume à 110° avec de l'eau distillée, on a obtenu les nombres du tableau II relatifs à deux vins très différents d'âge, d'origine et de qualité.

Tableau II.

	Éthers par litre en $\text{SO}^4\text{H}^2$	
	1892	1901
1 <sup>re</sup> distillation.	$\frac{\text{gr}}{0,338} = 66,9 \text{ 0/0}$	$\frac{\text{gr}}{0,247} = 66,0 \text{ 0/0}$
2 <sup>e</sup> —	$0,071 = 14,1$	$0,066 = 17,8$
3 <sup>e</sup> —	$0,069 = 13,6$	$0,044 = 11,8$
4 <sup>e</sup> —	$0,027 = 5,4$	$0,017 = 4,6$
TOTAL.....	0,505	0,374

Il est intéressant de remarquer que, malgré une très grande différence dans la constitution de ces deux vins, la proportion d'éthers recueillis dans la première distillation est sensiblement la même et égale, dans les deux cas, à 66 p. 100 environ de la quantité totale.

Le même rapport a été retrouvé pour des vins très divers, sains ou altérés, de la Gironde, comme le montre le tableau III où l'on donne en outre l'année, la richesse alcoolique, l'acidité totale, l'acidité volatile et l'état des échantillons.

Tableau III.

ANNÉE	RICHESSSE alcoolique	ACIDITÉ totale	ACIDITÉ volatile	PROPORTION D'ÉTHERS à la 1 <sup>re</sup> distillation	OBSERVATIONS
1901	10,3	$\frac{\text{gr}}{3,75}$	$\frac{\text{gr}}{0,92}$	p. 100 66	Commun, cassable et non traité.
1901	9,4	5,10	1,40	67	Commun, cassable mais traité.
1899	10,1	5,60	1,62	65	Amer.
1892	10,9	3,60	1,00	67	Sain, très bouqueté.
1884	7,5	4,50	2,66	67	Tourné.
1883	8,9	5,00	2,18	68	Tourné.
1876	9,2	5,47	1,98	66	Amer.

Pour ces vins et ceux de constitution analogue, on peut donc admettre qu'en distillant les dix onzièmes du liquide, on recueille les deux tiers des éthers. Cette remarque permet de simplifier grandement l'analyse, car il suffit de multiplier par  $\frac{3}{2}$  le nombre obtenu après une seule distillation.

Avec d'autres vins, le rapport serait un peu différent; il s'élèverait sans doute pour des liquides très riches en alcool.

En se basant sur la remarque précédente, on peut exécuter comme suit le dosage des éthers dans les vins du Sud-Ouest.

On fait bouillir 110° de vin dans un petit ballon, et l'on recueille 100° de distillat. On sature le liquide avec de l'eau de chaux, ce qui permet de déterminer l'acidité volatile par la méthode Duclaux; puis on ajoute 20° d'une solution de soude au vingtième et l'on fait bouillir pendant trois quarts d'heure au moins dans une fiole reliée à un réfrigérant ascendant. Après refroidissement, on sature l'excès de soude par de l'acide sulfurique au vingtième. Soit  $n$  le volume de solution acide employée; le poids d'acide éthérifié par litre, exprimé en  $\text{SO}^4\text{H}^2$ , sera donné par l'expression,

$$p = (20 - n) \times 0.0245 \times \frac{3}{2} = (20 - n) \times 0.03675$$

et, en éther acétique, par la formule :

$$p' = (20 - n) \times 0.066.$$

Les nombres ainsi obtenus sont nécessairement plus élevés que ceux qu'a donnés M. X. Rocques dans son étude sur *les Bouquets des Vins*(<sup>1</sup>), car il ne distille d'abord que la moitié du liquide et ne redistille du produit condensé que le volume nécessaire pour faire un mélange alcoolique à 50°. Les éthers restant dans les deux résidus successifs ne sont pas compris dans les dosages.

Grâce à l'obligeance inépuisable de deux propriétaires du Médoc, que je regrette de ne pouvoir nommer, mais à qui la science ne s'adresse jamais inutilement, j'ai pu doser les éthers dans deux séries d'années consécutives appartenant à deux crus très différents.

Voici d'abord un *premier bourgeois*; le tableau fait connaître en même temps que la richesse en éthers, le degré alcoolique, l'acidité totale et l'acidité volatile, ainsi que la somme alcool-acide.

(<sup>1</sup>) *Revue de viticulture*, 1899, t. II, p. 95.

Tableau IV.

ANNÉES	ALCOOL p. 100	ACIDITÉ PAR LITRE		SOMME alcool acide	ÉTHERS PAR LITRE	
		totale	volatile		en SO <sup>4</sup> H <sup>2</sup>	en éther acétique
	°	gr	gr		gr	gr
1889	9,7	3,25	0,61	12,95	0,408	0,732
1890	9,7	3,65	0,76	13,35	0,480	0,862
1891	9,1	3,95	0,75	13,05	0,459	0,824
1892	9,9	4,10	1,20	14,00	0,540	0,969
1893	9,6	4,10	1,19	13,70	0,480	0,862
1894	9,9	3,87	1,02	13,77	0,504	0,905
1895	10,5	4,17	1,28	14,67	0,517	0,928
1896	9,6	3,70	0,95	13,30	0,411	0,738
1897	10,1	3,85	0,74	13,95	0,404	0,725
1898	9,9	3,52	0,82	13,42	0,390	0,600
1899	10,0	3,60	0,89	13,60	0,386	0,693
1900	10,0	3,87	0,96	13,87	0,441	0,792

Ce tableau montre d'abord que dans les vins nouveaux il peut y avoir autant d'éthers que dans les vins vieux de même origine, comme on le voit en comparant le 1900 et le 1890 par exemple. Il n'y a proportionnalité ni avec la richesse alcoolique seule, ni avec l'acidité seule. Ainsi le 1891 a un degré de moins d'alcool et cependant plus d'éthers que le 1897; de même le 1894 et le 1897 ont même acidité totale et diffèrent de 20 0/0 dans leur richesse en éthers; le 1890 et le 1897, qui ont même acidité volatile, varient aussi de 20 0/0 dans la proportion d'éthers. Toutefois, il existe un certain parallélisme, sensible surtout dans les vins les plus vieux, entre les éthers et la somme de l'alcool et de l'acidité totale.

La qualité du vin ne croît pas non plus en raison des éthers, car le 1894, par exemple, qui est inférieur au 1889 et au 1898, renferme sensiblement plus d'éthers; sa valeur marchande est à peine le 1/3 de celle des deux autres.

Considérons maintenant des vins d'un rang beaucoup plus élevé dans la classification officielle adoptée par les viticulteurs et par les commerçants. Les échantillons analysés se divisent en deux séries : la première qui va de 1869 à 1881, comprend des vins récoltés avant l'apparition du mildiou en Médoc; la seconde, qui va de 1887 à 1901, comprend les vins récoltés depuis l'application régulière et annuelle

de la Bouillie Bordelaise comme traitement préventif des maladies cryptogamiques. On a écarté de cette étude les années intermédiaires, parce que les vins récoltés pendant la période d'invasion du *Peronospora* ont laissé à désirer à différents points de vue.

Comme le précédent, le tableau suivant comprend l'année de la récolte, le degré alcoolique, l'acidité totale et l'acidité volatile, la richesse en éthers et la somme de l'alcool et de l'acidité totale.

Tableau V.

ANNÉES	ALCOOL	ACIDITÉ PAR LITRE		SOMME alcool acide	ÉTHERS PAR LITRE	
		totale	volatile		en SO <sup>4</sup> H <sup>2</sup>	en éther acétique
1 <sup>re</sup> Série.						
	°	gr	gr		gr	gr
1868	11,2	3,75	1,12	14,95	0,529	0,950
1869	10,85	3,80	1,00	14,65	0,492	0,884
1870	11,15	3,60	1,14	14,75	0,500	0,898
1871	10,3	3,95	1,32	14,25	0,518	0,930
1872	9,7	3,60	0,87	13,30	0,470	0,844
1873	10,5	3,75	1,09	14,25	0,529	0,950
1874	10,3	4,17	1,39	14,47	0,533	0,957
1875	9,7	3,73	1,04	13,43	0,471	0,846
1876	10,5	3,68	1,22	14,18	0,522	0,938
1877	10,9	3,85	0,99	14,75	0,543	0,975
1878	11,1	4,27	1,32	15,37	0,570	1,024
1879	10,4	3,34	0,72	13,74	0,452	0,812
1880	10,2	3,93	0,99	14,13	0,481	0,864
1881	10,5	3,45	0,87	13,95	0,452	0,812
2 <sup>e</sup> Série.						
1887	9,9	3,78	0,87	13,68	0,375	0,673
1888	9,7	3,75	0,98	13,45	0,386	0,693
1889	9,5	4,00	0,94	13,50	0,375	0,673
1890	9,6	3,65	0,96	13,25	0,353	0,634
1891	9,6	3,90	0,99	13,50	0,408	0,732
1892	9,9	3,70	0,99	13,60	0,356	0,639
1893	10,0	3,95	1,14	13,95	0,364	0,653
1894	9,6	4,05	0,94	13,65	0,367	0,659
1895	10,6	3,85	1,20	14,45	0,404	0,725
1896	10,0	3,70	0,96	13,70	0,404	0,725
1897	10,3	3,80	0,81	14,10	0,396	0,711
1898	10,3	3,75	0,90	14,05	0,312	0,560
1899	10,35	3,80	1,22	14,15	0,330	0,592
1900	11,05	3,95	1,34	15,00	0,441	0,792
1901	10,0	3,87	1,14	13,87	0,316	0,567

Si l'on compare les chiffres contenus dans les deux parties de ce tableau, on est frappé de la grande différence qui existe dans la teneur en éthers ; on a en effet :

	ÉTHERS EN $\text{SO}^4\text{H}^2$		
	min.	moy.	max.
De 1868 à 1881. . . .	0 gr. 452	0 gr. 501	0 gr. 570
De 1887 à 1901. . . .	0 gr. 312	0 gr. 372	0 gr. 441

Ces différences, qui semblent caractériser deux périodes de la vie de la vigne dans un même lieu, paraissent dues, dans une certaine mesure, à des différences de maturité des raisins, car, dans la première période, la richesse alcoolique est un peu plus élevée et l'acidité un peu plus faible que dans la seconde période, comme on le voit ci-après :

	RICHELLE ALCOOLIQUE			ACIDITÉ TOTALE		
	min.	moy.	max.	min.	moy.	max.
De 1868 à 1881. . . .	9,7	10,5	11,2	gr 3,34	gr 3,78	gr 4,27
De 1887 à 1901. . . .	9,5	10,0	11,05	3,65	3,83	4,05

Il serait intéressant de rechercher si des vins d'autres origines présenteraient les mêmes différences ; mais bien peu de propriétaires conservent dans leurs caves d'aussi nombreux spécimens de leurs récoltes successives.

Quoi qu'il en soit, pour ces vins comme pour les vins plus communs du tableau IV, la quantité d'éthers n'est exactement proportionnelle ni à l'alcool ni à l'acidité totale ou volatile ; mais elle varie assez régulièrement avec la somme alcool acide, surtout pour les vins les plus vieux, de telle sorte que les vins riches à la fois en alcool et en acide sont aussi les plus riches en éthers.

La comparaison des vins récoltés pendant une même série d'années, de 1889 à 1900, dans les deux propriétés d'où proviennent les échantillons analysés plus haut, présente aussi quelque intérêt :

	RICHESSE ALCOOLIQUE			ACIDITÉ TOTALE			ÉTHERS ET SO <sup>4</sup> H <sup>2</sup>		
	min.	moy.	max.	min.	moy.	max.	min.	moy.	max.
Cru bourgeois.	9,1	9,8	10,5	gr. 3,25	gr 3,80	gr 4,17	gr 0,386	gr 0,452	gr 0,540
Cru supérieur.	9,5	10,1	11,05	3,65	3,84	4,05	0,312	0,376	0,441

Ces chiffres démontrent d'une manière évidente que la qualité des vins n'est pas liée à leur richesse globale en éthers; l'acidité est sensiblement la même, le degré alcoolique est un peu plus élevé dans les vins les mieux cotés, et cependant ceux-ci renferment moins de produits étherés que les autres.

D'ailleurs, dans la catégorie même des vins supérieurs, il n'y a aucune relation entre leur valeur vénale et leur teneur en éthers. Ainsi, le 1868 et le 1873, pour lesquels on a trouvé le même nombre 0<sup>r</sup>529, valent trois fois plus l'un que l'autre; le 1869, qui en renferme moins que le 1868, se vend pourtant plus cher; de même le 1875 par rapport au 1874, et ainsi des autres.

L'éthérification étant fonction du temps, la quantité totale d'éthers contenus dans un vin déterminé doit augmenter avec son âge; mais ici la vérification directe en est actuellement à peu près impossible, parce que les termes de comparaison manquent. On peut cependant essayer de tourner la difficulté à l'aide de la formule qu'a donnée M. Berthelot<sup>(1)</sup> pour calculer, dans un vin de composition moyenne, le coefficient d'éthérification finale et, par suite, le poids total d'alcool ou d'acide éthérifié.

Si l'on désigne par A le poids de l'alcool contenu dans 100 grammes de vin supposé privé de son-extrait sec, et par a l'acidité totale par litre, le poids limite E d'acide éthérifié par litre, équivalent par conséquent à l'ensemble des éthers possibles, est donné par la formule

$$E = \frac{(1,17 \times A + 28) a}{100}.$$

Appliquons cette formule à quelques-uns des vins supérieurs analysés plus haut; nous aurons le tableau VI :

<sup>(1)</sup> *Ann. chim. et phys.*, 4<sup>e</sup> série, I, p. 334; 1864.

Tableau VI.

ANNÉE	ALCOOL en poids p. 100	EXTRAIT p. 100	COEFFICIENT d'éthérification	ACIDITÉ par litre	ETHERS PAR LITRE		
					calculé	trouvé	différence
					gr.		
1868	9,0	2,6	13,6	3,75	0,51	0,52	— 0,01
1870	8,9	2,6	13,4	3,65	0,49	0,50	— 0,01
1871	8,2	2,4	12,6	3,95	0,50	0,51	— 0,01
1875	7,8	2,2	12,2	3,73	0,46	0,47	— 0,01
1878	8,9	2,4	13,5	4,27	0,58	0,57	+ 0,01
1888	7,8	2,1	12,2	3,75	0,46	0,39	+ 0,07
1895	8,9	2,6	13,4	3,85	0,52	0,40	+ 0,12
1899	8,3	2,5	12,7	3,80	0,48	0,33	+ 0,15
1901	8,0	2,3	12,4	3,87	0,48	0,32	+ 0,16

La colonne des différences montre que la limite d'éthérification n'est pas atteinte dans les premières années qui suivent la récolte, et que la réaction ne s'achève que dans les vins très vieux.

On a vu qu'en comparant des vins différents d'origine ou d'année, la proportion d'éthers n'était pas en relation directe avec l'acidité; il n'en est pas ainsi pour un même vin, si les circonstances viennent à faire varier son acidité; dans ce cas, les éthers subissent des variations de même sens.

Ainsi, il arrive que certains vins en bouteilles deviennent plus ou moins malades et que leur acidité augmente avec le temps. Si l'on a eu soin d'en pasteuriser une partie avant toute altération, on pourra, par comparaison, dans une analyse ultérieure, constater une augmentation correspondante d'éthers dans les vins malades.

En voici quelques exemples :

Tableau VII.

ANNÉE	ÉTAT DU VIN	ACIDITÉ totale	ACIDITÉ volatile	ETHERS en $\text{SO}^4\text{H}^2$
1884	Chauffé en 1888.....	gr. 3,35	gr. 0,86	gr. 0,570
	Non chauffé.....	3,70	1,06	0,606
1890	Chauffé en 1891.....	3,83	1,09	0,485
	Non chauffé.....	5,17	2,06	0,888
1891	Chauffé en 1891.....	3,20	0,55	0,492
	Non chauffé.....	5,06	2,42	1,059



Quand l'acidité totale augmente, ainsi que l'acidité volatile, les éthers peuvent plus que doubler; leur abondance est cependant loin d'être le signe de la qualité, puisque les vins non chauffés, surtout ceux de 1890 et 1891, étaient tournés et fort mauvais.

De même, si on laisse un vin se piquer à l'air, on constate à la fois plus d'acidité et plus d'éthers formés.

L'expérience a été faite avec des vins d'années diverses :

Tableau VIII.

ANNÉE	ÉTAT DU VIN	ACIDITÉ totale	ACIDITÉ volatile	ÉTHERS en $\text{SO}^4\text{H}^2$
1888	Sain . . . . .	gr 3,75	gr 0,98	gr. 0,386
	Piqué . . . . .	5,47	3,07	0,576
1890	Sain . . . . .	3,65	0,96	0,353
	Piqué . . . . .	3,98	1,62	0,552
1896	Sain . . . . .	3,70	0,96	0,404
	Piqué . . . . .	4,05	2,37	0,666
1898	Sain . . . . .	3,75	0,90	0,312
	Piqué . . . . .	4,15	3,00	0,829

Inversement, si le vin fleurit, il perd de l'acidité; en même temps sa teneur en éthers diminue.

Les vins suivants ayant été récoltés un peu verts et étant par suite très acides, le résultat n'en est que plus probant :

Tableau IX.

ANNÉE	ÉTAT DU VIN	ACIDITÉ totale	ACIDITÉ volatile	ÉTHERS en $\text{SO}^4\text{H}^2$
1902	Sain . . . . .	gr 7,5	gr 0,91	gr. 0,573
	Fleuri . . . . .	6,19	0,44	0,495
1902	Sain . . . . .	6,06	0,90	0,518
	Fleuri . . . . .	5,00	0,62	0,363

Les vins fleuris ont un goût d'évent; ils deviennent fades et perdent de leur saveur vineuse.

Bien que cette étude n'ait porté que sur des produits de la Gironde, ses conséquences s'appliquent à tous les vins. Si les qualités d'un vin, sa saveur caractéristique, son bouquet, sont dus, pour une partie, à des produits étherés, il est certain que la totalité des éthers n'y intervient pas; les plus riches en éthers sont souvent en effet les plus communs, les plus défectueux et les moins bien conservés.



# LE MÉCANISME DES PONTES ANORMALES

Par M. J. KUNSTLER

PROFESSEUR A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE BORDEAUX

En 1661, Bartholin publia la description d'un œuf sans jaune contenant un autre œuf. Il fit ainsi connaître les *œufs à double enveloppe*. Peu après lui, Yung (1671) et Kleyer (1682) trouvèrent aussi chacun quelque chose d'analogue, avec cette différence qu'il s'agissait, dans leurs descriptions, d'un œuf complet contenant un autre œuf complet. Après ces premiers auteurs, bien d'autres naturalistes firent paraître de nouvelles observations analogues; nous citerons les communications de Flourens, à l'Académie des Sciences, en 1835, et de Rayer, à la Société de Biologie, en 1849. Il n'y a pas moins d'une quarantaine de publications à signaler jusqu'à l'apparition d'un important travail de Davaine, paru à

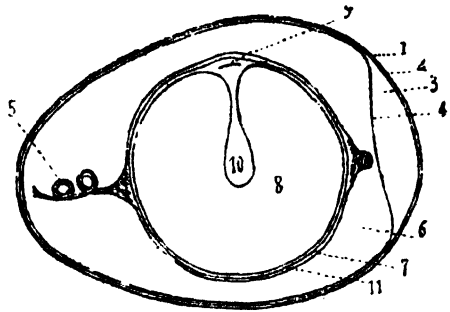


FIG. 1.

Coupe théorique de l'œuf normal de Poule

1. Coquille. — 2. Feuille externe de la membrane coquillière. — 3. Chambre à air. — 4. Feuille interne de la membrane coquillière. — 5. Chalazes. — 6. Albumine. — 7. Membrane chalazifère. — 8. Vitellus jaune. — 9. Cicatrice. — 10. Latebra. — 11. Membrane vitelline.

la Société de Biologie, en 1860, dans lequel cet éminent tératologiste étudia d'une manière approfondie l'ensemble du problème soulevé par ces curieuses formations, et décrivit notamment un œuf à trois enveloppes, c'est-à-dire une formation dans laquelle trois œufs étaient

contenus l'un dans l'autre, le premier, extérieur, étant complet, le deuxième sans coquille, à membrane coquillière épaisse, et le troisième sans coquille, à membrane coquillière mince. Bien d'autres auteurs se sont encore occupés d'œufs monstrueux, parmi lesquels nous citerons Vaillant (*Société de Biologie*, 1874), Crisp (*Proc. of the path. Soc. of London*, 1877), Barnes (*British med. Journal*, 1885), Supino (*Feuille des Jeunes Naturalistes*, 1897), Ch. Féré (*Soc. Biol.*, 12 avril 1902), à cause de l'intérêt qui s'attache à leurs publications.

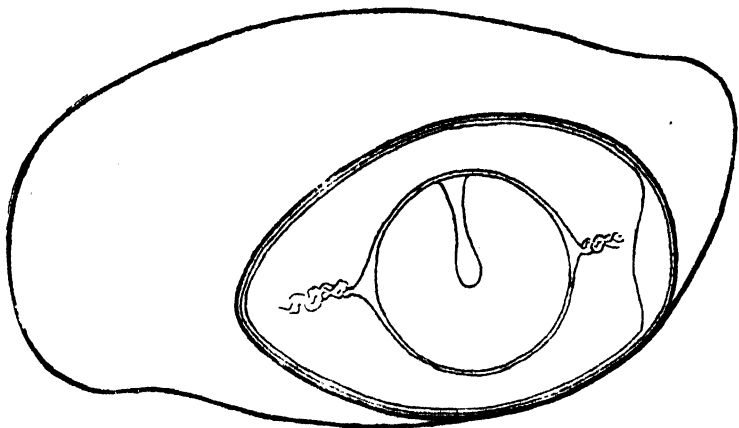


FIG. 2.

Œuf à enveloppe double, dans lequel la coque de l'œuf interne est accolée en un point de la coque périphérique.

Il y a quelques années, j'ai trouvé au Muséum d'histoire naturelle de Bordeaux, oubliés au fond d'un placard, toute une série d'œufs monstrueux, dont l'étude m'a paru assez digne d'intérêt pour me décider à y consacrer quelques articles, en exposant, dès cette époque, ma façon d'expliquer les faits (*postea*). Depuis lors, une foule de dons analogues me sont parvenus (M. Desbans, D<sup>r</sup> Bordes, capitaine Lamare, etc.), qui m'ont permis de mieux généraliser mes vues primitives, et d'y faire rentrer l'ensemble des cas particuliers connus, dont l'explication paraît souvent ardue.

Les œufs des gallinacées domestiques présentent donc certaines variations plus ou moins fréquentes, généralement signalées pour l'œuf de poule et du dindon, mais aussi quelquefois pour celui de l'oie ou du cygne. La littérature scientifique a enregistré avec moins de prédilection les cas d'œufs à double enveloppe, et l'on admet souvent que ces

derniers sont bien plus rares que les œufs réellement doubles. Cette opinion n'est guère corroborée par ce qui se voit dans notre collection ni dans l'ensemble des dons, somme toute, assez fréquents qui nous sont faits. Tout au moins pour ce qui est du Sud-Ouest, les œufs à double enveloppe nous apparaissent comme étant de beaucoup les plus fréquents.

Ces œufs tératologiques ont un caractère général assez constant. Ils se présentent sous forme de corps allongés, oblongs, souvent irrég-

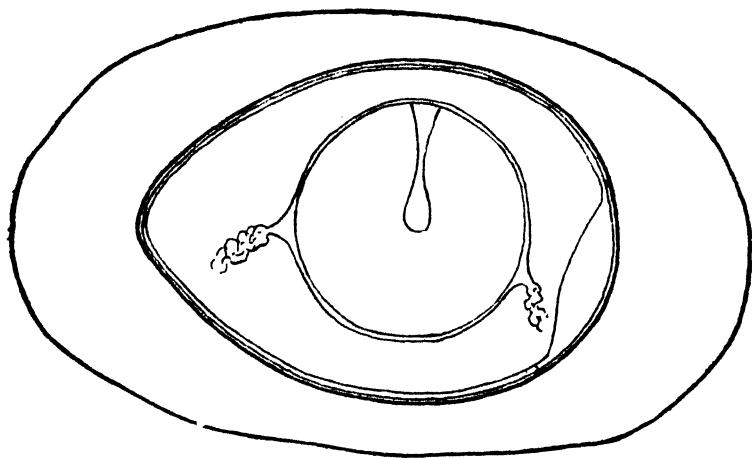


FIG. 3.

Œuf à enveloppe double, dans lequel les coquilles sont caractérisées par une disposition régulièrement concentrique.

guliers, d'un volume relatif généralement considérable. C'est ainsi que, les œufs normaux pesant environ 55 grammes, il se trouve de ces formations monstrueuses atteignant près de 200 grammes. L'exemplaire représenté par la figure 2 avait 170 grammes. Dans la règle, à un œuf intérieur est juxtaposée une couche d'albumine et une deuxième coque, les variations de volume et de dispositions étant nombreuses. La coque de l'œuf interne est fréquemment accolée à la coque périphérique en un point (*fig. 2*), tandis que d'autres fois la disposition réciproque est régulièrement concentrique (*fig. 3*). D'autres fois, on observe deux œufs complets, contenus l'un dans l'autre. Nous avons décrit un cas de ce dernier genre, présentant un certain intérêt. Il s'agit d'un œuf normal, en apparence, et n'offrant, à première vue, rien qui pût le distinguer de tout autre œuf de poule, ni comme volume, ni comme aspect.

Mais, ainsi que le montre la figure 4, dans la masse du blanc était inclus un œuf minuscule qui présentait ceci de remarquable que, malgré ses dimensions réduites, il était bien complet et normalement constitué. De la grosseur d'une belle noisette, son diamètre longitudinal était de

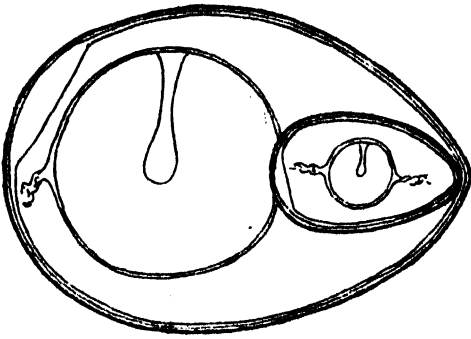


FIG. 4. — Œuf double.

23 millimètres et son diamètre transversal de 19 millimètres; enfin le jaune avait un diamètre de 10 millimètres. Toutes les parties essentielles de l'œuf, coque calcaire, membrane coquillière, blanc, chalazes, jaune, latébra et cicatricule étaient normales et proportionnées aux dimensions de l'ensemble. En un mot, un œuf en miniature se

trouvait inclus dans la masse de l'albumine d'un œuf normal. Ch. Féré a signalé un cas particulier dans lequel l'œuf inclus était dépourvu de coquille, mais non de membrane coquillière. Il arrive aussi que certains œufs présentent à leur intérieur les corps les plus divers et les plus inattendus (*fig. 5*).

Les œufs tératologiques peuvent donc présenter le volume d'un œuf normal. Mais, le plus souvent, les œufs extérieurs sont plus grands et peu réguliers, tandis que ceux qui sont inclus sont généralement plus petits que l'œuf ordinaire, et, à ce point de vue, on peut observer les plus grandes variations. De plus, leurs formes aussi sont des

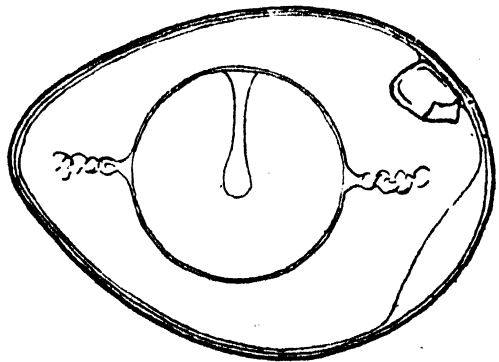


FIG. 5.

Œuf contenant un corps étranger (grain de maïs)

plus variables. Il est rare de rencontrer des œufs pourvus d'une double coquille, dont les deux enveloppes calcaires soient simplement mais directement juxtaposées (*fig. 6*).

La recherche des causes déterminantes des vices de constitution signalés plus haut a tenté presque tous ceux qui se sont occupés de ce

sujet. Il est, en effet, fort intéressant de rechercher quels peuvent être les liens de parenté qui unissent les diverses formations précitées et quels sont les phénomènes spéciaux capables d'aboutir à de semblables résultats.

Autrefois, sous l'influence de la théorie si répandue de l'emboîtement des germes, on croyait à une genèse du petit œuf par le gros, ce qui constituait une confirmation éclatante de cette hypothèse.

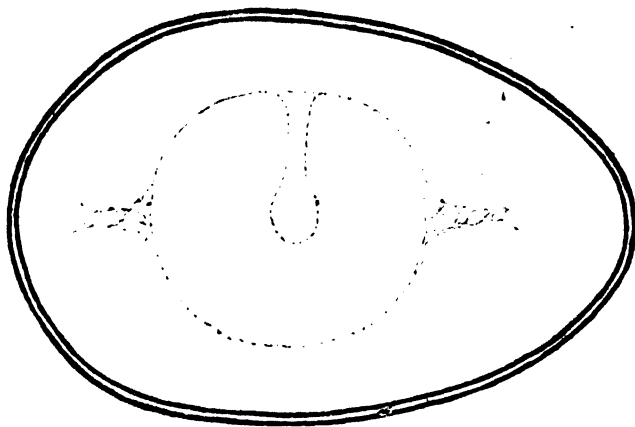


FIG. 6. — Œuf à coque double.

Actuellement, on se trouve en face de deux théories principales expliquant le mode de formation de ces monstruosité : la première, généralement admise, la deuxième, qui est celle que nous défendons, combattue encore par les auteurs les plus récents.

D'après la première hypothèse, qui est défendue avec talent par Rabaud, la formation d'œufs minuscules a son point de départ dans des phénomènes encore inconnus ; l'œuf complet, mais fort petit, s'arrête dans l'oviducte ; l'arrivée d'un deuxième jaune provoque une sécrétion nouvelle d'albumine et de substance calcaire qui enveloppe l'ensemble du premier œuf et du second. Les faits se passeraient ainsi parce que les mouvements musculaires de l'oviducte éprouveraient des difficultés à faire progresser un œuf de petit volume, de façon que celui-ci resterait stationnaire pour être ensuite poussé par le gros œuf et englobé avec lui par les diverses sécrétions.

Il ne nous est pas possible de nous rallier à cette manière de voir, non pas seulement à cause du fait que l'œuf inclus n'est pas toujours



minuscule, mais encore parce que la constitution histologique de l'oviducte et la façon dont les sécrétions s'y effectuent ne sauraient se concilier avec une théorie tout artificielle. Les diverses enveloppes de l'œuf ne sont pas sécrétées à la même hauteur dans l'oviducte; il faut que celui-ci passe successivement par les diverses régions de ce conduit pour être complété. Il est donc matériellement impossible que le petit œuf acquière ses enveloppes en un point où il est arrêté et que l'arrivée d'un nouveau jaune soit l'occasion, au même point, d'une réédition du même phénomène. De plus, dans les cas d'œufs à double enveloppe,

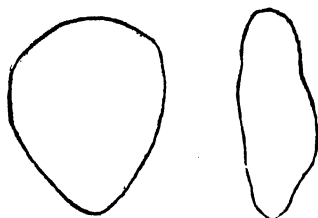


Fig. 7. — Petits œufs anormaux à forme aberrante.

qui sont les plus fréquents pour Raboud, c'est-à-dire lorsque l'œuf périphérique est dépourvu de son jaune, qu'est-ce qui provoquerait, à défaut de celui-ci, la formation de la double enveloppe? Enfin, dans les conditions prévues, le petit œuf semblerait toujours devoir être inclus au gros bout qui est en avant pendant la descente, alors qu'on le voit souvent à

l'autre extrémité, entouré ou non par une épaisseur variable des enveloppes de l'œuf.

L'interprétation que nous donnons de ces faits n'est plus une simple vue de l'esprit comme la précédente. Elle a en sa faveur certaines constatations précises, aussi bien que certaines déductions que la logique des choses semble rendre nécessaires.

Un fait bien connu de tous les éleveurs, c'est que certaines poules affaiblies, trop jeunes ou anémiques, ont une tendance à pondre des œufs d'un volume plus ou moins inférieur au volume normal, de formes souvent aberrantes (*fig. 7*) et quelquefois dépourvus de coquille. C'est ce que l'on appelle souvent des *œufs de coq*, quoique certains auteurs soient disposés à réserver cette dénomination à des œufs renfermant une quantité variable d'albumine, mais dépourvus de jaune. D'un autre côté, la nécropsie des individus affaiblis montre quelquefois dans leur oviducte de petits œufs anormaux de ce genre, et ceci dans toutes ses régions depuis la trompe jusqu'à la poche cloacale. Nous connaissons, en ce moment, une poule qui pond alternativement des œufs normaux et de très petits œufs, dépourvus de jaune et pouvant être aussi petits que ceux d'un passereau.

Il peut y avoir lieu de rappeler que les différentes parties de l'œuf

sont sécrétées dans les régions successives de l'oviducte, de façon que, forcément, le premier œuf, complet, doit revenir en arrière pour recevoir de nouveau des couches similaires à celles qu'il possède déjà. Par exemple, dans le cas étudié plus haut, après avoir acquis son enveloppe calcaire dans le bas de l'oviducte, le petit œuf a dû remonter vers la trompe où une nouvelle ponte ovarique lui aura juxtaposé un jaune normalement constitué. Les deux corps descendant de concert auront reçu ensemble les sécrétions successives de l'oviducte, soit la couche albuminoïde, la membrane coquillière et la coque calcaire. En un mot, il y aurait eu rebroussement de chemin suivi d'une ponte définitive.

La cause efficiente de ces perturbations ne saurait guère consister qu'en une grande atonie des parois de l'oviducte jointe à la production, à un moment donné, de mouvements spéciaux. La descente normale des œufs est due aux contractions péristaltiques des parois de l'oviducte; la remonte ne saurait guère tirer son origine que de mouvements antipéristaltiques, refoulant l'œuf de la même façon que les premiers l'avaient amené. Le clinicien constate journellement des faits de même ordre, dans les cas d'atonie intestinale, s'il peut nous être permis de chercher un point de comparaison. Très fréquemment, les fèces non expulsées à leur arrivée à l'anus remontent plus ou moins loin, pour être évacuées plus tard grâce à une nouvelle excitation, due généralement à l'arrivée de matières nouvelles, engendrant des mouvements péristaltiques normaux. Si cette comparaison devait être réellement justifiée, il faudrait donc admettre que le séjour de l'œuf complet dans l'oviducte ne suscite aucune nouvelle sécrétion — les forces organiques ayant été momentanément épuisées par l'ensemble des phénomènes de sécrétion et de mouvements, ou même par de vains efforts de ponte — et qu'une nouvelle ponte serait souvent nécessaire pour rendre de l'activité à l'appareil. Ce serait là un fait de fonctionnement intermittent qui cadre fort bien avec l'ensemble des phénomènes biologiques les mieux observés. Les contractions antipéristaltiques ne sauraient être considérées comme un fait anormal et rare; la physiologie courante nous l'apprend surabondamment. A l'issue de ces contractions, l'œuf s'arrête plus ou moins loin, suivant les cas. Il peut redescendre tout seul, exciter les sécrétions de l'oviducte, se recouvrir d'albumine et d'une coquille et devenir un œuf à double enveloppe. Ou bien, les mouvements péristaltiques expulsifs peuvent concorder ou être

provoqués par l'arrivée d'un nouveau jaune et déterminer les mêmes sécrétions de couches successives suivant les régions. Naturellement, de grandes variations doivent caractériser ce processus, selon que l'œuf inclus est plus ou moins gros, que le mouvement de descente est plus ou moins rapide et que la sécrétion est plus ou moins vive et abondante. Une autre variation constitutionnelle dépend de la hauteur à laquelle a remonté l'œuf refoulé. C'est ainsi que, s'il est arrivé assez haut, il peut toucher le jaune, tandis qu'il en est d'autant plus éloigné qu'il a été rencontré plus bas dans l'oviducte. Il est bien entendu que la même explication est valable pour les corps étrangers. C'est ainsi que l'un de mes schémas (*fig. 5*) montre un grain de maïs placé immédiatement sous la coquille. Car nous savons déjà que la marche ci-dessus indiquée du phénomène est corroborée par le fait que les corps étrangers les plus extraordinaires et les plus divers, en contact avec l'orifice cloacal, peuvent être engloutis, remonter l'oviducte, et, d'après le procédé ci-dessus indiqué, être englobés dans l'œuf de première ponte à une profondeur variable avec la hauteur du point de rencontre. Cette manière de voir est la seule qui explique l'ensemble des phénomènes relatés; la constitution des *œufs de coq* sans jaune montre qu'ils peuvent même se produire en dehors de toute ponte.

# OBSERVATIONS

## SUR QUELQUES SCUTELLIDÆ

DES

Terrains tertiaires de la Gironde et du Sud-Ouest

Par M. E. FALLOT

Le groupe des *Scutellidæ* joue dans la faune échinologique des terrains tertiaires de la Gironde un rôle des plus importants. Ses deux genres les plus typiques, *Scutella* et *Amphiope*, y sont bien développés et on les trouve cités par tous les auteurs qui se sont occupés de la région. Mais à part Des Moulins et Tournouër, aucun ne les a étudiés d'une manière spéciale, et quelques espèces, principalement celles que l'on rencontre dans l'Aquitanien, étage très mal connu à l'époque où ces auteurs ont publié leurs observations, ont été mal déterminées ou ont reçu des dénominations qui ont besoin d'être expliquées et commentées. Grâce aux recherches que j'ai pu faire dans la partie moyenne de l'Entre-deux-Mers, et à quelques autres documents précieux, je me propose de faire ici une sorte de révision des principales formes de *Scutella* et d'*Amphiope* trouvées dans la région, et j'espère ainsi combler dans une certaine mesure une lacune qui se fait vivement sentir dans nos connaissances à ce sujet.

### I. Genre SCUTELLA.

Préparé par l'apparition du genre *Præscutella* qui est représenté dans l'Éocène de Blaye par *P. Caillaudi* et *P. Degrangei*, Cott., le genre *Scutella* prend, dès les premières assises marines de l'Oligo-

cène, une certaine importance. Il se montre abondant dans le Calcaire à Astéries (Tongrien), sous la forme de *S. striatula* que l'on a tant de fois décrite et qui est remarquable non seulement par le nombre de ses échantillons, mais aussi par la variabilité de son type; ce dernier point mérite même de nous arrêter quelques instants.

On retrouve ensuite les Scutelles dans l'Aquitanien avec deux formes : l'une, la *Scutella Bonali*, a été dénommée par Tournouër et décrite tout dernièrement par M. de Loriol, mais avec une figure assez médiocre; l'autre, qui semble de prime abord constituer une espèce distincte de la précédente, est probablement une simple variété que je décrirai sous le nom de *Scutella Bonali*, var. *gornacensis*. Enfin, dans le Miocène inférieur (Langhien-Burdigalien), nous trouvons en abondance dans le faciès mollassique la *Scutella subrotunda*, Lk., qui a déjà occupé bien souvent les échinologistes.

## I. SCUTELLA STRIATULA, Marcel de Serres.

Pl. I, fig. 1.

Marcel de Serres, dans *Geogn.* (p. 156), indique qu'il y a une variété de *Scutella subrotunda* bien distincte du type par la plus grande largeur de ses ambulacres, qui sont striés à leur bord externe d'une manière assez prononcée. Il ajoute que « cette disposition, jointe à sa forme plus arrondie, pourrait peut-être la faire séparer de la *Sc. subrotunda* et lui faire donner le nom de *Scutella striatula* ». Tous les géologues ont adopté cette espèce si peu nettement décrite. Agassiz l'a inscrite dans son *Prodrome* et l'a figurée dans ses *Monographies d'Échinodermes* (pl. XVIII, fig. 1-5, 1841). Des Moulins l'avait également citée dans ses études sur les Échinodermes (1835-1837) et Tournouër en parle dans son *Recensement des Échinodermes du calcaire à Astéries* (1).

J'ai peu de chose à ajouter à ce qui a été dit sur cette espèce.

Elle est très variable comme dimensions et comme forme. J'ai vu des échantillons dans lesquels le plus grand diamètre atteint à peine 47 millimètres et d'autres où il dépasse 85 millimètres.

Les petits échantillons sont généralement arrondis, presque circu-

(1) *Actes Soc. Linn.*, t. XXVII, 1870.

lares. Ainsi, certains spécimens venant d'Haux (Gironde) ont 47 millimètres sur 48, le diamètre transverse étant le plus grand.

Les grands prennent très souvent — je devrais dire généralement — un certain allongement dans le sens transversal. Dans un échantillon de Quinsac, je trouve 75 millimètres comme diamètre transversal maximum <sup>(1)</sup> et 71 comme diamètre antéro-postérieur; le fait est encore plus marqué dans un échantillon de Cénac, qui a 82 millimètres sur 77.

Néanmoins, l'on peut voir de grands échantillons tout à fait ronds; j'en possède un provenant de Cambes qui est très remarquable à ce point de vue: il a 79 millimètres sur 79. La localité de Madère, près Sarcignan, aux environs de Bordeaux, présente également des formes très grandes et d'aspect circulaire à première vue; mais en y regardant de près, le diamètre transversal maximum dépasse légèrement l'antéro-postérieur (l'un d'eux a 85 millimètres sur 81). J'ajouterai que la plus grande dimension transversale est toujours en arrière du sommet.

L'anus, qui est très petit, est placé très près du bord; ce dernier présente à ce niveau une légère échancrure qui, peu marquée chez le jeune, devient très apparente et très accentuée à mesure que l'oursin avance en âge.

Enfin les ambulacres sont peu variables; ils sont un peu moins allongés chez les échantillons arrondis que chez les autres; ils sont presque toujours terminés extérieurement, ou en tout cas à peu près terminés. Enfin, comme caractère assez important, je ferai observer que les zones interporifères sont sensiblement de la largeur des zones porifères. Ces dernières ne présentent leurs stries qu'extérieurement; c'est ce qui avait, je pense, frappé Marcel de Serres.

Quant à l'âge de la *Scutella striatula*, je ne le connais dans la Gironde que dans le Calcaire à Astéries. M. Cotteau <sup>(2)</sup> la cite de de l'Éocène moyen du Tremble près Bourg-sur-Gironde. Je ne connais pas cette localité, mais je croirais assez volontiers à une erreur d'attribution d'étage, car c'est le Calcaire à Astéries qui affleure aux environs de cette ville.

Je citerai comme lieux de gisement de cette espèce si commune :

<sup>(1)</sup> J'entends par diamètre transversal maximum le plus grand diamètre dans le sens transversal et non celui qui passe par le centre de l'appareil apical.

<sup>(2)</sup> *Paléontologie française*. — Terrain tertiaire, t. II, p. 242.

Cenon, Floirac, Bouliac, La Tresne, Quinsac, Cénac, Haux, Cambes, Saint-Émilion. Elle est très abondante dans certaines carrières à l'ouest de Saint-Macaire, à Lamothe-Landerron; on la trouve aussi dans les environs de Monségur (Sainte-Gemme, Montignac). Enfin elle existe en superbes échantillons à Madère, près Sarcignan, où on la rencontre en compagnie d'*Echinolampas Blainvillei*, Ag.

L'échantillon figuré (pl. I, fig. 1) provient de La Tresne (Gironde).

## II. SCUTELLA BONALI, Tourn.

Pl. II, fig. 3.

M. de Lorient a publié cette espèce dans ses *Notes pour servir à l'étude des Échinodermes* (fasc. X, p. 20, pl. III, fig. 1), d'après un échantillon provenant de Pindères (Lot-et-Garonne) qui lui avait été donné par Tournouër.

Cette figure n'est pas très bonne, le procédé employé ne rendant pas exactement la finesse des sillons qui relient entre eux les pores ambulacraires, extrêmement nombreux.

Néanmoins, la forme des ambulacres est assez exacte et on peut se rendre compte de leur contour piriforme, c'est-à-dire de leur élargissement extérieur et de leur fermeture presque complète. On peut aussi constater l'étroitesse des zones interporifères et la largeur considérable des zones porifères.

Je possède des échantillons de Pindères chez lesquels la largeur maxima de la zone interporifère étant de 2 millimètres, celle de la zone porifère est de 6 millimètres.

Malheureusement, je n'ai pu, malgré toutes mes recherches, rencontrer à Pindères d'échantillons parfaitement conservés. Tous ceux que j'ai ramassés sont ou cassés ou encroûtés de calcaire ou même recouverts de valves d'*Ostrea* très solidement fixées sur le test.

Quant à la position stratigraphique de cette espèce, elle me paraît être celle qu'a indiquée Tournouër sur un échantillon qui existe au Muséum de Bordeaux et que j'ai cité en 1895 dans ma *Notice relative à une carte géologique des environs de Bordeaux*, p. 19. Tournouër avait écrit au-dessous du nom : « Étage falun de Bazas supérieur, reposant sur le calcaire lacustre gris de Saucats. »

Voici la coupe que j'ai relevée près de Petit-Herrin, aux environs

de Pindères, un peu à l'ouest du chemin de Pompogne, dans une petite carrière. On trouve de bas en haut :

1. — Calcaire gris fétide, en gros bancs, avec Planorbes.

2. — Calcaire mal aggré, formé presque uniquement de moules de Planorbes, de Limnées et d'Helix.

3. — Couche formée de débris de calcaire d'eau douce et de Planorbes, présentant à la partie supérieure *Ostrea producta* R. et D. et *Scutella Bonali*, cassées ou encroûtées.

4. — Terre végétale.

Il résulte de l'examen de cette coupe qu'il existerait au-dessus d'une assise d'eau douce, qui a toutes les apparences du Calcaire gris de l'Agenais (Aquitanien supérieur), une assise marine caractérisée par des *Ostrea* et des *Scutella*. Mais je me hâte de dire que ces fossiles semblent avoir été remaniés au moins sur place. Il y a eu probablement là un phénomène de lavage et même de rivage, auquel on doit le remaniement des fossiles d'eau douce et l'encroûtement par eux des Scutelles, ces dernières présentant souvent à leur surface des débris de Planorbes. On pourrait même se demander si ces Échinides sont bien à leur place primitive; le fait qu'ils ne sont pas roulés milite en faveur de cette opinion. Quoi qu'il en soit à cet égard, je range volontiers cette assise, jusqu'à plus ample informé, dans l'Aquitanien supérieur.

Le type des Pindères me paraît rare dans l'Entre-deux-Mers. M. Rey l'a rencontré dans les mollasses de Castelvieu (Aquitanien moyen). C'est la même forme, les mêmes dimensions, la même disposition des ambulacres, leur contour piriforme. Mais déjà une légère modification apparaît dans la largeur relative de la zone interporifère comparée à celle des zones porifères. Alors que dans les échantillons les plus typiques de Pindères le rapport peut être de 1 à 3 (2 millimètres pour 6 millimètres), dans celui de Castelvieu le plus typique, il n'est plus que de 1 à 2; c'est-à-dire que la zone interporifère ayant au maximum 2<sup>mm</sup>5 de large, la zone porifère en a 5.

Ce caractère ne me paraît pas suffisant pour séparer cet échantillon (et quelques autres assez semblables) de la *Scutella Bonali*, Tourn., mais il constitue le trait d'union entre le type de l'espèce et une forme que j'ai voulu longtemps considérer comme une espèce nouvelle et que je crois devoir décrire comme une simple variété de la *Scutella Bonali*, sous le nom de *Scutella Bonali*, var. *gornacensis*.



**III. SCUTELLA BONALI, Tourn. var. GORNACENSIS, E. Fall.***Pl. II, fig. 2.*

SYNONYMIE : *Scutella* cf. *Bonali*. E. Fallot (*Nôlice relative à une carte géologique des environs de Bordeaux*, p. 19).

## DIMENSIONS

Diamètre antéro-postérieur . . . . .	74-75 <sup>mm</sup>
— transversal maximum . . . . .	83 <sup>mm</sup>

Test subcirculaire, un peu plus large que long, à pourtour presque entier, peu onduleux.

Face supérieure peu convexe ; face inférieure plane.

Appareil apical à peu près central.

Aires ambulacraires très développées, un peu piriformes, presque égales entre elles ; leur longueur est d'environ 24 millimètres et elles s'avancent jusqu'à 13 millimètres du bord ; leur largeur maxima est de 11 millimètres.

La zone interporifère, plus large que dans le type, a généralement près de 3 millimètres, mais elle atteint près de 4 millimètres dans l'ambulacre antérieur impair de l'échantillon figuré. Il en résulte que dans ce dernier ambulacre, la zone porifère est à peu près de la largeur de la zone interporifère. Dans les autres ambulacres, il y a toujours une petite différence en faveur de la zone porifère ; cette dernière est toujours un peu plus large que l'autre.

Les aires ambulacraires sont assez ouvertes.

RAPPORTS ET DIFFÉRENCES. — La variété *gornacensis* que je viens de décrire se distingue du type de Pindères dénommé par Tournouer et figuré par M. de Loriol : 1° par ses ambulacres un peu moins élargis extérieurement, c'est-à-dire moins piriformes ; 2° par la largeur plus grande des zones interporifères ; 3° par l'ouverture plus marquée des ambulacres.

Au premier abord, ces différences de caractères suffiraient pour justifier la création d'une espèce nouvelle ; mais en présence des formes de passage que j'ai entre les mains, je ne me crois pas autorisé à créer une espèce spéciale pour celle que je figure ici. Je me hâte d'ajouter que j'ai fait reproduire la variété la plus éloignée du type

de Tournouër, surtout celle qui a les ambulacres les plus ouverts; ils le sont même d'une manière anormale. J'ai trouvé cette variété dans la mollasse aquitanienne moyenne du moulin de Cazeau, près de Gornac (Entre-deux-Mers). M. Reyt l'a également rencontrée au moulin de Gonin, près de la même localité.

Je possède des échantillons très analogues venant des mêmes couches à Sainte-Croix-du-Mont, c'est-à-dire de la base de l'Aquitanién moyen, où elle est accompagnée par *O. producta*, R. et D. Je les rapporte à *Scutella Bonali*, var. *gornacensis*, et il est probable que les *Scutella Bonali* indiquées à Sainte-Croix-du-Mont par M. Benoist <sup>(1)</sup> et par M. Degrange-Touzin <sup>(2)</sup> appartiennent à la variété dont je m'occupe.

Il en est sans doute de même de celle que M. Benoist cite dans le grès de Bazas, le long du ruisseau d'Aubiach, avec *Psemmobia aquitanica* et *O. producta* <sup>(3)</sup>. Je n'ai pu en trouver que des fragments, mais le Muséum de Bordeaux possède trois échantillons provenant d'Aubiach; le plus grand, qui a 82 millimètres de diamètre antéro-postérieur, se fait remarquer par les caractères sur lesquels j'ai insisté plus haut : aires ambulacraires un peu moins piriformes et un peu plus ouvertes, zone interporifère un peu plus large que dans le type de Tournouër.

L'étude de ces échantillons m'amène enfin à constater que plus ils sont jeunes, plus les caractères distinctifs d'avec le type s'accroissent.

Je dois ajouter que la *Scutella Bonali*, var. *gornacensis*, a beaucoup d'analogie avec *Scutella subrotunda*. Tournouër l'avait autrefois confondue avec cette espèce. Voici, en effet, comment il s'exprime in *Recensement des Échinides du calcaire à Astéries*, p. 19 <sup>(4)</sup> : « Les Scutelles des faluns se rapportent toutes pour moi au type de la *subrotunda*, même une variété plus petite et plus ronde qui se rencontre dans les calcaires aquitaniens de Bazas, à Bazas même et à Baulac, au bord du Ciron. » Plus loin, il dit : « Desor (*Synopsis*, 232) donne pour la *Scutella subrotunda* les indications suivantes de terrains et de localités : Tertiaire (Miocène inférieur) de Bordeaux, Dam-ber commune de Gornac (Gironde)... » et il ajoute :

<sup>(1)</sup> *Esquisse géologique des terrains tertiaires du Sud-Ouest de la France*, p. 48, 1888.

<sup>(2)</sup> *Actes Soc. Linn.*, t. XXXVI, 1882.

<sup>(3)</sup> *Esquisse*, loc. cit.

<sup>(4)</sup> *Actes Soc. Linn.*, t. XXVII, 1870.

« Je soupçonne qu'il y a encore ici quelque erreur sur le gisement... Je crois, en effet, stratigraphiquement parlant, que les couches aquitaniennes de Sainte-Croix-du-Mont où j'ai recueilli *Scutella subrotunda* et *Amphiope bioculata* s'étendent un peu plus loin sur le sommet des coteaux jusqu'à Gornac, au-dessus du Calcaire à Astéries, qui se relève très vite dans cette direction. La *Scutella subrotunda* peut donc avoir été recueillie à Gornac et cependant à un niveau qui n'est pas celui du Miocène inférieur. »

Il n'est pas douteux que l'échantillon indiqué par Desor venait des couches aquitaniennes méconnues si longtemps dans la région de l'Entre-deux-Mers et que j'ai étudiées dans ma *Notice sur la carte géologique des environs de Bordeaux* et dans une autre, plus récente, *Sur l'Extension de la mer aquitanienne*<sup>(1)</sup>, et qu'il se rapportait non pas à *Scutella subrotunda*, mais à *Scutella Bonali*, var. *gornacensis*, comme ceux aussi que Tournouër avait trouvés à Sainte-Croix-du-Mont et qu'il confondait avec l'espèce miocène de Léognan.

Ce qui distingue *Scutella Bonali* de l'espèce miocène, c'est surtout la longueur des ambulacres, la largeur des zones porifères, l'étroitesse des zones interporifères et, enfin, l'élargissement presque subit du test vers la partie postérieure; mais j'ajoute que ces différences s'atténuent dans la variété *gornacensis* qui a plus d'affinité avec *Scutella subrotunda* que le type des Pindères. Chez cette variété j'indiquerai surtout comme caractères différentiels, par rapport à l'espèce miocène, la longueur des ambulacres, dont l'extrémité est plus rapprochée du bord (2), le contour beaucoup moins sinueux et la forme moins circulaire, plus élargie en arrière.

Malgré ces différences, on comprend la confusion qui a pu être faite entre les deux espèces par les divers auteurs, et ce n'est qu'avec un certain nombre d'échantillons de diverses tailles que l'on peut arriver à une détermination plus rigoureuse et plus exacte et rattacher définitivement la forme aquitanienne de l'Entre-deux-Mers et du Bazadais à la *Scutella Bonali*, Tournouër, dont elle constitue une variété que je viens de faire connaître sous le nom de *gornacensis*.

(1) Bull. Soc. géol., 4<sup>e</sup> série, t. 1, p. 433.

(2) Ce caractère la distingue aussi de *Scutella paulensis*, Ag., qui est du reste plus allongée transversalement.

**SCUTELLA SUBROTUNDA, Lk.***Pl. I, fig. 2.*

Cette espèce est trop connue pour que je m'y arrête longtemps. Agassiz (1) en a donné une très bonne description et une figure assez exacte. Je dirai cependant que les échantillons que je connais ont les zones interporifères bien plus ouvertes à leur partie extérieure que le savant naturaliste ne les a figurées (2).

L'espèce est du reste peu variable : je connais des exemplaires très arrondis, presque circulaires ; d'autres plus élargis en arrière, mais cet élargissement est *progressif*, il n'est pas brusque comme celui que l'on remarque généralement chez *Sc. Bonali*. Le pourtour est toujours remarquablement sinueux.

Quant aux ambulacres, ils sont tantôt inégaux, les deux postérieurs étant sensiblement plus grands que les autres, tantôt presque égaux ; leurs zones ambulacraires dépassent peu en largeur la partie la plus large des zones interambulacraires. Leur terminaison est toujours plus éloignée du bord que dans *Sc. Bonali*.

Malgré ces variations, il ne paraît pas qu'il y ait lieu de constituer de véritables variétés dans l'espèce, qui est du reste très cantonnée.

Elle se trouve presque uniquement à la base du Langhien-Burdigalien, dans la Mollasse de Léognan d'où provient l'échantillon figuré ; on en a trouvé aussi à Canéjan, dans la carrière de Giraudeau (vallée de Saucats), au même niveau, et j'ai vu un échantillon étiqueté Mérignac (domaine du Cardinal) dans la collection Brochon. On la rencontre aussi, mais rarement et généralement en débris, à Pont-Pourquey (partie supérieure du Langhien-Burdigalien).

**II. Genre AMPHIOPE.**

Le genre *Amphiope* suit généralement le genre *Scutella* dans son développement et l'accompagne dans ses principaux gisements.

(1) *Monogr. des Scutelles*, p. 76, pl. 17.

(2) La figure que je donne, pl. I, fig. 2, présente l'effacement des sillons ambulacraires vers leur partie interne : c'est le cas le plus général ; cependant, dans les échantillons absolument parfaits, on voit que les sillons relient les deux pores, seulement ils sont plus ou moins effacés vers le pore interne.

L'exploration des terrains tertiaires de la Gironde nous le démontre surabondamment. J'y ai reconnu trois types d'Amphiope, dont je vais m'occuper successivement.

### AMPHIOPE AGASSIZI, des Moul.

J'ai peu de choses à dire sur cette espèce qui accompagne *Scutella striatula* dans le Calcaire à Astéries. Désignée d'abord sous le nom général de *Scutella bioculata*, puis d'*Amphiope Agassizi* par Des Moulins, elle a été figurée et décrite par Cotteau <sup>(1)</sup> et citée par Tournouër dans son *Recensement des Échinides du calcaire à Astéries*.

Elle est toujours très semblable à elle-même et ne présente pas les variétés que l'on observe à propos de beaucoup d'autres espèces de la même famille.

Elle est en général très rare. On ne la trouve guère que dans les environs de Monségur, surtout à Sainte-Gemme. L'échantillon type proviendrait de Saint-Albert, près La Réole.

### AMPHIOPE OVALIFORA (des M.), E. Fall.

Pl. II, fig. 1.

Dans son troisième Mémoire sur les Échinides <sup>(2)</sup>, Des Moulins indique deux variétés de *Scutella* (*Amphiope*) *bioculata* : la variété A caractérisée par des lunules arrondies (*foraminibus subrotundis*), la variété B par des lunules ovales transversalement (*foraminibus transversè ovatis*). « Mes échantillons de la variété B, dit-il, sont trop mauvais pour que je puisse affirmer qu'ils ne doivent pas constituer une espèce distincte. »

La collection du savant échinologiste renferme en effet des échantillons très mal conservés dont les lunules sont ovales et qui portent la dénomination sus-indiquée *Scutella bioculata*, var. B.

L'un provient de la carrière de Dambert, commune de Gornac, un autre des coteaux entre Violle et Sainte-Croix-du-Mont; enfin, il y a des fragments, sans localité je crois, sur lesquels il a écrit : « Je

<sup>(1)</sup> *Rev. et Mag. de Zool.*, 1864, p. 103, pl. XIV, fig. 3-5.

<sup>(2)</sup> *Actes Soc. Linn.*, t. IX, 1837, p. 232.

l'institue provisoirement sous le nom d'*Amphiope ovalifora*, nob., 4 septembre 1869.»

L'espèce n'avait jamais été figurée, ni décrite, ni même définitivement créée par l'auteur, à cause du mauvais état des spécimens qu'il possédait, mais les géologues bordelais avaient généralement désigné sous ce nom les échantillons d'*Amphiope* de Sainte-Croix-du-Mont (1).

La collection Brochon en renferme des fragments ainsi dénommés.

Il en est de même, dans la susdite collection, d'un échantillon incomplet provenant du château du Cros (commune de Loupiac) et d'un autre venant de Gornac. C'est également le cas de deux *Amphiope* provenant de Gassies, près Cabanac, c'est-à-dire aussi de l'Aquitanien. Les *Neritina Ferussaci* et les Cérithes qui encroûtent ces fossiles sont la preuve certaine de leur âge aquitanien, et c'est au même étage qu'appartiennent les échantillons désignés par M. Benoist sous le nom d'*Amphiope ovalifora* et provenant soit de Lariey (2), soit du vallon de Moras (3).

Tous les spécimens que je connaissais étaient en fort mauvais état et peu susceptibles d'une détermination rigoureuse, lorsque je découvris de très belles *Amphiope* au lieu dit Cabaron ou Cavaron, près de Castelveil, dans la Mollasse aquitanienne moyenne. N'étant pas absolument sûr de la légitimité du nom d'*Amphiope ovalifora*, je les indiquai provisoirement sous le nom d'*Amphiope* sp. ind. (4).

Depuis j'ai pu étudier la question et me procurer un nouvel exemplaire venant de Cazeneuve, dans le Bazadais, et c'est ce nouvel échantillon que je figure et décris ici.

#### ÉCHANTILLON FIGURÉ

##### DIMENSIONS

Diamètre antéro-postérieur . . . . .	73 <sup>mm</sup>
— transversal . . . . .	76 <sup>mm</sup>

Espèce de taille moyenne, un peu plus large que longue, présentant sur les parties latérales une dépression assez marquée.

(1) Voy. p. ex. DEGRANGE-TOUZIN, *Actes Soc. Linn.*, t. XXXVI, 1882.

(2) Cat. Saucats. *Ibid.*, t. XXIX, p. 449.

(3) *Ibid.*, t. XXIX, p. CXXXIX.

(4) Notice relative à une carte géol. des env. de Bordeaux, p. 20.

Aires ambulacraires bien développées, s'élargissant assez rapidement vers l'extérieur, presque fermées à leur extrémité. Aire ambulacraire impaire très grande. Zones porifères larges, à pores internes arrondis et serrés, à pores externes allongés, unis par un sillon étroit et oblique. La zone interporifère est un peu plus large que chacune des zones porifères. Elle se rétrécit tout à coup extérieurement de manière à se terminer par une pointe et à prendre une forme un peu lancéolée.

Très près des aires ambulacraires postérieures, beaucoup plus petites que les antérieures, se voient deux lunules ovales, transversalement allongées (14 millimètres de long sur 5 de large), dont la forme étroite est la principale caractéristique de cette espèce (1).

L'appareil apical est pentagonal, muni de 4 pores génitaux, dont les antérieurs sont plus rapprochés l'un de l'autre que les postérieurs.

La face inférieure, mal conservée, ne présente rien de spécial.

L'anus est très petit et placé à 5 millimètres du bord postérieur.

RAPPORTS ET DIFFÉRENCES. — L'*Amphiope ovalifora* rappelle *A. bioculata* (Des M.), Ag. (2), mais elle s'en différencie par ses lunules allongées transversalement, par ses zones interporifères moins larges, enfin par l'inégalité très marquée de ses aires ambulacraires qui sont presque égales chez *A. bioculata*, telle qu'elle a été figurée par les divers auteurs.

Tous ces caractères sont en faveur de la création d'une espèce spéciale, comme l'avait pressenti Des Moulins, et de la séparation de la forme aquitanienne d'avec *A. bioculata*, Des M., type A, que l'auteur avait indiquée venant de Bordeaux — ce qui n'est pas assez précis — et de Sure, près Bollène (Vaucluse), c'est-à-dire d'un niveau évidemment supérieur à l'Aquitaniens (*voir le chapitre suivant*).

J'ajouterai que parmi les autres espèces d'*Amphiope* voisines d'*A. ovalifora*, la seule qui me paraisse à citer, *A. palpebrata*, Pomel, est plus allongée transversalement et a les zones porifères moins larges.

*Amphiope ovalifora* est donc une espèce bien nette qui caractérise les formations mollassiques de l'Aquitaniens moyen dans la Gironde.

(1) Sur la figure, les lunules semblent n'avoir que 12 millimètres de long ; cette différence provient de leur forme généralement rétrécie de haut en bas (en entonnoir). Dans ces conditions, le contour de la face inférieure est seul marqué par une ligne noire ; le supérieur, plus long, reste indécis.

(2) AGASSIZ, *Monographie des Scutelles*, 1841, pl. II, fig. 1.

**AMPHIOPE BIOCULATA, des M. sp.**

Je viens de montrer que l'*A. bioculata*, var. B, Des Moulins, constitue bien une espèce comme l'avait pressenti l'auteur. Reste à savoir ce qu'il entendait par *Amphiope bioculata*, var. A.

J'ai heureusement retrouvé dans sa collection un échantillon étiqueté de sa main sous cette dernière dénomination; il a même ajouté : « Cet échantillon, adressé à MM. Desmarest et Brongniart, fut nommé par eux *Scutella bifora*, var. 3, Lam. n° 7 (*foraminibus, subrotundis* Encycl., p. 147, fig. 5, 6). En 1837, j'en fis le type (var. A) de mon *Scutella bioculata*, Tabl. syn. n° 23. »

Il donne comme synonymie sur la même étiquette : Agassiz. *Scutelles*, p. 73 (*pl. II, fig. 1-5*); Agassiz et Desor, Catalogue raisonné, p. 78; Desor, *Synopsis*, p. 236.

Cet échantillon, qui provient de Saucats, est très grand; il a 121 millimètres sur 109. Il est tellement encroûté que, sauf les lunules ovales un peu arrondies, il est impossible d'en voir un seul caractère.

La nature de la gangue et l'abondance des *Donax transversa* qui le recouvrent me font penser qu'il provient du gisement de Pont-Pourquey, c'est-à-dire de la partie supérieure du Langhien-Burdigalien.

Ce qui me confirme dans cette opinion, c'est la présence dans les vitrines du Muséum de Bordeaux d'un échantillon d'*Amphiope* venant de Pont-Pourquey et également encroûté de *Donax transversa*.

Ce deuxième spécimen est également de grande taille : il a 114 millimètres de largeur maxima et son diamètre antéro-postérieur est de 105 millimètres.

Les deux aires ambulacraires postérieures sont seules visibles; elles ont 16-17 millimètres de large et s'arrêtent à 12 millimètres de la lunule.

Les lunules sont irrégulières; celle de droite a 16 millimètres de long sur 13 de large; celle de gauche n'a que 12 millimètres de largeur et est par conséquent moins arrondie.

L'anús, très petit, se trouve à 4<sup>mm</sup>5 du bord postérieur.

L'échantillon a été étiqueté sous le nom d'*Amphiope ovalifora*, mais la forme de ses lunules ne permet pas d'accepter cette détermination, et il me paraît rentrer, à cause de ses caractères visibles et de son gisement, dans le type de l'*Amphiope bioculata*, tel que le comprenait Des Moulins.



La position stratigraphique de cette espèce dans le Miocène de la Gironde correspond du reste assez bien à celle que les divers auteurs ont indiquée pour *Amphiope bioculata*.

Ainsi, Des Moulins la mentionne à Sure, près Bollène; Agassiz <sup>(1)</sup> la cite dans les faluns de la Touraine, et Desor <sup>(2)</sup> à Saint-Paul-Trois Châteaux (Drôme) et à Sainte-Maure (Indre-et-Loire).

La seule question qui resterait à élucider, c'est de savoir si le type adopté par les auteurs depuis Agassiz est bien celui de Des Moulins. Le mauvais état de conservation des *Amphiope* de Pont-Pourquey ne permet aucune affirmation rigoureuse à cet égard. Je dirai seulement que les lunules figurées par les auteurs dans cette espèce me paraissent plus rondes que dans celle de Pont-Pourquey; je ferai surtout cette remarque pour les figures que lui a consacrées M. de Loriol, dans ses Notes pour servir à l'étude des Echinidermes <sup>(3)</sup>. Les types qui ont servi à cet auteur proviennent du Miocène de l'Hérault et de l'Aude, de niveaux un peu supérieurs à celui de Pont-Pourquey. Il ne serait pas impossible que les lunules aillent en s'arrondissant à mesure que l'on monte dans les étages du terrain miocène.

(1) *Monogr. des Scutelles*, p. 75.

(2) *Synopsis des Echinides fossiles*, p. 236.

(3) Fasc. X (pl. II, fig. 4, 5).

## CONCLUSIONS

Les genres *Scutella* et *Amphiope* figurent dans les terrains tertiaires de la Gironde avec un certain nombre de formes caractéristiques.

Dès longtemps on a établi dans le Tongrien la *Scutella striatula*, M. de Serres et l'*Amphiope Agassizi*, Des M.

L'insuffisance des recherches sur l'Aquitanien et le mauvais état des échantillons rencontrés n'avaient pas permis jusqu'ici une étude des *Scutellidæ* de cette époque. J'ai montré dans la partie principale de mon travail qu'elle était caractérisée aussi par une *Scutella* et une *Amphiope* : *Scutella Bonali*, Tourn. et *Scutella Bonali*, var. *gornacensis*, E. Fall. d'une part, et *Amphiope ovalifora* (Des M.), E. Fall., d'autre part.

Enfin, le Langhien-Burdigalien est caractérisé par *Scutella subrotunda*, Lam., si classique et si souvent décrite, et par *Amphiope bioculata*, telle au moins que la comprenait son auteur, Charles Des Moulins.

TABLEAU DES SCUTELLIDÆ DE LA GIRONDE

SCUTELLA		AMPHIOPE	
—		—	
Miocène . . . . .	<i>Sc. subrotunda</i> , Lam.	<i>A. bioculata</i> , Des M. sp.	
Aquitanien . . .	<i>Sc. Bonali</i> , Tourn.	<i>A. ovalifora</i> (Des M.), E. Fall.	
	<i>Id.</i> var. <i>gornacensis</i> , E. Fall.		
Tongrien . . .	<i>Sc. striatula</i> , M. de Serres.	<i>A. Agassizi</i> , Des M.	

## EXPLICATION DES PLANCHES

---

### PLANCHE I

FIG. 1. — *Scutella striatula*, Marcel de Serres.

FIG. 2. — *Scutella subrotunda*, Lk.

### PLANCHE II

FIG. 1. — *Amphiope ovalifora* (Des Moul.), E. Fall.

FIG. 2. — *Scutella Bonali*, Tourn. var. *gornacensis*, E. Fall.

FIG. 3. — *Scutella Bonali*, Tourn.

---

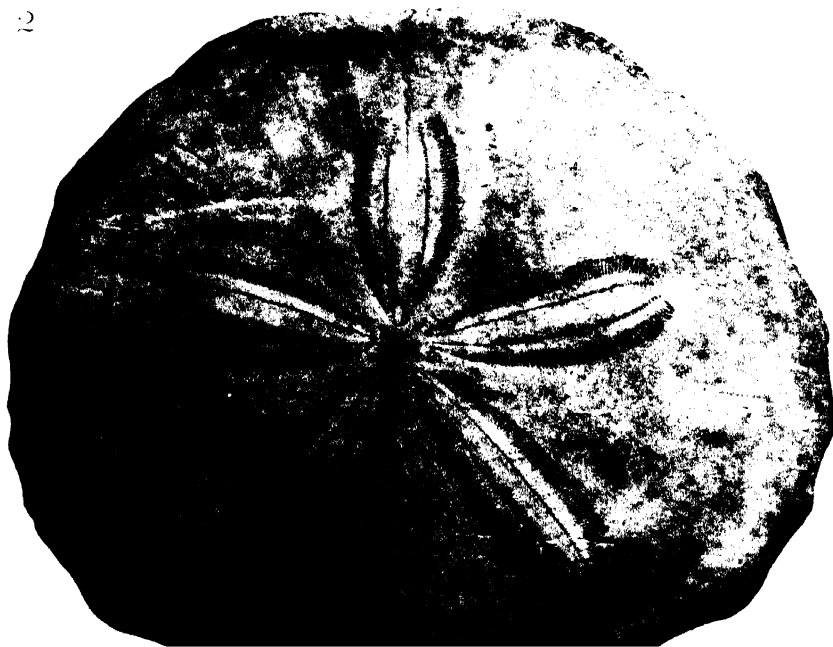




1



2





# SUR LA NATURE DE LA LAMELLE MOYENNE DANS LES TISSUS MOUS

Par M. Henri DEVAUX

PROFESSEUR ADJOINT A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE BORDEAUX

---

## CHAPITRE PREMIER

---

### I. — Aperçu historique.

En 1835, Hugo Mohl reconnut qu'il existe une *substance intercellulaire* dans une multitude de tissus végétaux, cryptogames ou phanérogames. Cette substance existe dans la plupart des tissus, elle est particulièrement nette dans le bois et dans le collenchyme. Toutes les études faites depuis Hugo Mohl n'ont fait que confirmer l'existence de cette substance intercellulaire qui, sous *les noms de lamelle moyenne, substance intercellulaire, membrane primaire, etc.*, a été étudiée par un grand nombre d'auteurs. Dans les belles études que M. Mangin a poursuivies depuis 1888 sur la constitution de la paroi des cellules végétales, il s'est également occupé de la lamelle moyenne. Nous renvoyons à l'historique très complet qu'il a donné de cette question dans son mémoire *sur les composés pectiques* <sup>(1)</sup>. Je ne donnerai ici qu'un résumé analytique de cet historique, concernant l'origine, les réactions et la constitution que l'on a attribuée à la substance intercellulaire.

<sup>(1)</sup> MANGIN, *Recherches sur la distribution des composés pectiques chez les végétaux* (Journal de botanique, 1893).



ORIGINE. — La lamelle moyenne a été regardée tout d'abord par Unger comme *représentant la membrane primitive*; Dippel et Schacht se ralliaient à la même opinion. Mais plus tard (1863) Kabsch, Vogl, et ensuite Wiesner, émirent l'idée que cette membrane primitive n'était pas restée telle quelle, mais s'était altérée à mesure qu'elle était recouverte par des épaissements. Cette opinion que la lamelle moyenne est un *produit d'altération* avait déjà été avancée en 1861 par Wigand. Une opinion notablement différente avait été émise pourtant par Schleiden et Harting, peu de temps après la découverte de la substance intercellulaire. Ces auteurs regardaient cette substance comme un *produit de sécrétion*. Cette vue était très remarquable pour l'époque, précédant comme le dit M. Mangin, d'un grand nombre d'années la théorie d'accroissement de la membrane par intussusception. En fait, les travaux ultérieurs ont montré que la lamelle moyenne s'épaissit toujours avec l'âge, ce qui montre qu'il y a certainement un apport de substances nouvelles comme le pensaient Schleiden et Harting.

RÉACTIONS. — Lorsque l'on traite un tissu quelconque par le chlorure de zinc iodé, ou bien par l'acide sulfurique et l'iode, on reconnaît que la lamelle moyenne ne se colore presque jamais en bleu comme le reste de la paroi. Cette réaction importante, reconnue par Unger, Dippel et Schacht, montre que la lamelle moyenne est probablement toujours dépourvue de cellulose. Cependant beaucoup d'auteurs ont pensé, dès le début et jusqu'à nos jours, que la réaction de la cellulose est simplement masquée<sup>(1)</sup>.

D'autre part, d'après Dippel et Schacht, cette substance intercellulaire présente une résistance remarquable à l'action de l'acide sulfurique concentré, mais cette résistance n'est vraiment bien marquée que pour la lamelle moyenne des tissus lignifiés. Au contraire, la lamelle moyenne se dissout dans les solutions alcalines bouillantes (Schacht), de sorte que les tissus se dissocient, se réduisant en cellules complètement séparées les unes des autres. Le même phénomène se produit aussi par l'action de l'acide azotique additionné de chlorate de potasse à chaud. Il y a encore dissociation par putréfaction de tissus dans l'eau, comme ceci se produit par exemple dans l'opération du rouissage. Ce sont là des réactions de première importance.

(1) UNGER, DIPPEL, SANIO et enfin GARDINER. Voy. MANGIN, *loc. cit.*

Les recherches de Payen, de Frémy, puis beaucoup plus récemment celles de Mangin ont enfin donné une méthode de dissociation générale par l'action successive des acides, puis des alcalis dilués.

Quant aux réactions colorées de la lamelle moyenne, Palladine disait en 1884 que nous manquons de réactifs distinctifs de la substance unissante, du moins dans le cas particulier des tissus mous. Dans ses études sur les colorants des substances pectiques, Mangin arrive à colorer la lamelle moyenne seule par l'emploi du bleu de méthylène ou du rouge de Ruthénium très dilués. Mais dès que l'on augmente un peu la concentration, la totalité de la paroi se colore. Gilson<sup>(1)</sup> réussit aussi à obtenir de la même manière la coloration de la lamelle moyenne seule sur des coupes privées de leur cellulose par la liqueur de Schweitzer. Ces faits semblent indiquer que la lamelle moyenne a simplement plus d'affinité pour les colorants basiques que le reste de la paroi.

CONSTITUTION. — Laissant à part l'assertion de Harting<sup>(2)</sup> qui compare la lamelle moyenne des tissus lignifiés à une sorte de *cuticule*, pour ne nous occuper que des tissus mous, nous voyons que beaucoup d'auteurs considèrent cette lamelle moyenne comme formée par une substance de nature *pectique*. Payen exprime nettement l'idée qu'elle est formée de pectate de chaux. Cette opinion a été reprise de nos jours par Mangin (voy. p. 93). Tout au contraire, Kabsch et Vogl admettent qu'elle est formée de pectose. Mulder, Harting, admettent qu'elle est formée tantôt de pectose, tantôt de pectate de chaux. Frémy incline plutôt à penser qu'il n'y a que de la pectose dans les parois, tandis que Wiesner, en 1865, parle simplement de la constitution pectique de la lamelle moyenne.

A côté de ces auteurs, qui regardent la lamelle moyenne comme formée de composés pectiques, d'autres émettent des conclusions complètement distinctes. Unger en 1836, et plus tard en 1837, admet qu'elle représente la membrane primaire dont elle possède la constitution avec ou sans modifications. Gardiner, beaucoup plus tard, a émis une opinion analogue. Dans les cellules dont la membrane est formée de cellulose pure, la lamelle moyenne, peu développée, est

(1) GILSON, *La Cristallisation de la cellulose, La Cellule*, t. IX.

(2) HARTING, *Recherches microchimiques sur la nature et le développement de la paroi des cellules végétales* (extrait). (*Ann. Sc. Nat. Bot.*, 3<sup>e</sup> série, t. V, p. 329; 1846).

formée, selon lui, par de la cellulose pure; au contraire dans les tissus lignifiés, subérifiés ou gélifiés, la lamelle moyenne est aussi lignifiée, subérifiée ou gélifiée. Cette opinion met, en somme, en doute l'existence même de la lamelle moyenne; ce doute avait déjà été émis auparavant par Wigand et Meyen.

Plus récemment, Wiesner, reprenant ses études sur la paroi, est amené à attribuer à cette paroi une constitution beaucoup plus complexe qu'il ne l'admettait auparavant. Tout d'abord, à l'égard de la lamelle moyenne, il adopte un nom nouveau, celui de *membrane externe* (*Aussenhaut*). L'auteur préfère ce terme à celui de lamelle moyenne parce que, même dans les jeunes stades du développement, cette zone se sépare en deux couches dont chacune enveloppe la cellule immédiatement contiguë et fait corps avec elle. Il admet du reste pour cette membrane externe, la nature complexe, structurée, qu'il a cherché à établir pour la totalité de la paroi, de sorte que la substance intercellulaire ne serait plus, comme il l'admettait autrefois, un ciment pectique, mais un ensemble de *dermatosomes* unis par un protoplasma hyalin. Nous ne pouvons que renvoyer au mémoire précité de Mangin pour la critique de ces vues de Wiesner. Nous ferons de même à l'égard de l'opinion émise par M. Van Tieghem, d'après laquelle la lamelle moyenne serait constituée par une cellulose très attaquable par le *Bacillus amylobacter*.

## II. — Opinion actuelle sur la lamelle moyenne. — Critique de cette opinion.

A la suite des recherches très étendues poursuivies par M. Mangin sur la paroi des cellules végétales, cet auteur a été amené à considérer comme très générale la présence de composés pectiques dans les parois des tissus mous. Se fondant sur les travaux nombreux des chimistes qui, depuis Braconnot, avaient retiré de l'acide pectique ou de la pectine de plantes très diverses, il a cherché et trouvé des réactions colorantes générales pour ces composés, et a reconnu l'existence de ces réactions chez une multitude de plantes et de tissus mous. Il a cherché à obtenir aux dépens de ces tissus de l'acide pectique, c'est-à-dire le corps le plus caractéristique et le plus anciennement connu; il y a réussi, et a caractérisé ce corps par ses principales réactions. Dès lors, sa conclusion, d'après laquelle la partie non cellu-

losique des parois des tissus mous est très généralement formée par des composés pectiques, se trouvait appuyée par des arguments très solides.

Les chimistes ne semblent pourtant pas avoir accepté complètement la valeur de ces arguments <sup>(1)</sup>; beaucoup préfèrent classer ces substances non cellulosiques de la paroi parmi les *hémi-celluloses* (Schultze), c'est-à-dire dans un groupe beaucoup moins circonscrit, qui comprend du reste les composés pectiques. Cette hésitation est naturelle, la nature même des composés pectiques n'est pas encore bien définie, et Pasteur a autrefois fortement critiqué les travaux de Frémy sur ces corps incristallisables et si difficiles à étudier.

Sans prétendre à mon tour trancher une question controversée, qui est du ressort des chimistes plus que de celui des naturalistes, je considère la constitution pectique des hémi-celluloses de la paroi comme à peu près certaine. Mes propres recherches, passées et actuelles, fondées sur cette notion, ne font que la confirmer.

Or la lamelle moyenne est comprise parmi les parties non cellulosiques de la paroi; la substance qui la constitue appartient donc aussi aux composés pectiques. M. Mangin s'est demandé auquel de ces composés il faut la rapporter.

Dans sa première publication sur ce sujet, en 1888 <sup>(2)</sup>, M. Mangin admettait que la lamelle moyenne était formée de *pectose* à l'état de pureté dans les tissus adultes. Toutefois, la pectose reconnue par M. Mangin est une substance, disait-il, qui ne présente pas toutes les réactions attribuées par M. Frémy au corps qu'il nomme ainsi, et il se réservait de rechercher s'il s'agissait « d'un principe immédiat ou d'un mélange de plusieurs principes présentant des polymérisations analogues à celles qu'offre la cellulose ».

Deux ans après <sup>(3)</sup>, M. Mangin revient sur cette question; il conclut de ses recherches que la substance intercellulaire est formée *non pas de pectose, mais de pectate de chaux*. Voyons sur quelles réactions il fonde cette opinion nouvelle :

« ANALYSE CHIMIQUE DES TISSUS. — On coupe en menus fragments les organes les plus divers (tiges, racines, feuilles, fleurs) et on les laisse macérer pendant vingt-quatre heures dans de l'alcool additionné

(1) TROMP DE HAAS, Thèse, Göttingen, 1894.

(2) *Comptes rendus*, 1888, t. CVII, p. 144.

(3) *Comptes rendus*, 1890, t. CX, p. 295.

d'acide chlorhydrique au quart ou au cinquième. On lave ensuite à l'eau distillée et l'on plonge les tissus dans une solution d'un sel de potasse ou de soude à réaction alcaline (carbonate, phosphate, oléate, silicate, etc.), ou dans une solution faible d'ammoniaque, ou enfin dans une solution d'un sel ammoniacal à acide organique (oxalate, citrate, etc.). Au bout de peu de temps, quand les fragments de tissus sont imprégnés du dissolvant, une faible agitation les dissocie complètement, et l'on obtient un liquide plus ou moins épais, dans lequel nagent les cellules, la cuticule, les fibres et les vaisseaux des tissus mous. Le liquide obtenu par les carbonates alcalins est filtré et additionné d'un acide; il précipite un magma gélatineux qui montre les caractères de l'acide pectique, tel que l'a défini M. Frémy. Ces résultats s'expliquent si l'on admet que l'acide chlorhydrique enlève les bases auxquelles l'acide pectique est combiné, et ce dernier, devenu libre, peut se dissoudre dans les liquides alcalins; en effet, si on laisse macérer les tissus qui ont subi l'action de l'acide chlorhydrique dans de l'eau de chaux ou de baryte, l'acide pectique reforme avec ces bases des sels insolubles, et l'on ne peut plus obtenir, à froid, la dissociation des tissus dans les solutions alcalines.

» EXAMEN MICROSCOPIQUE DES TISSUS. — L'existence presque constante de pectates insolubles dans la substance intercellulaire des tissus mous est confirmée par l'examen des tissus au moyen des réactifs colorants que j'ai fait connaître dans une précédente note. On pratique des coupes minces dans des organes adultes et on les colore avec la phénosafranine ou le bleu de méthylène, après l'action de l'alcool chlorhydrique. L'acide pectique insoluble se colore plus fortement que les composés pectiques associés à la cellulose dans l'épaisseur des membranes propres à chaque cellule. On peut constater que ce ciment forme une couche mince dans toute la surface de contact des cellules, et, à l'endroit où celles-ci se séparent, il produit un bourrelet épais sous l'aspect d'un cadre limitant la surface de contact; ce bourrelet est en saillie plus ou moins prononcée dans la cavité des méats et même quelquefois remplit exactement ces derniers, comme dans le tissu du liber, dans le parenchyme du tubercule de la Pomme de terre, dans le prosenchyme circonscrivant les faisceaux (iris, jacinthe, etc.). » Telle est la démonstration donnée par M. Mangin. Elle a paru sans doute satisfaisante à tous les histologistes, car elle n'a pas été sérieu-

sement contestée. La substance intercellulaire est partout admise aujourd'hui comme formée de *pectate de chaux et non de pectose*.

Comme on l'a vu, du reste, d'après l'historique (p. 91), les deux opinions avaient été soutenues par divers auteurs depuis fort longtemps.

CRITIQUE. — Je dois dire maintenant quels sont les faits qui m'ont fait douter que la lamelle moyenne soit vraiment formée d'une substance unique et constante comme le pectate de chaux.

1<sup>o</sup> Si la lamelle est partout formée de pectate de chaux tous les tissus mous devraient se dissocier avec *une égale facilité* par les divers moyens connus, chez toutes les plantes, dans toutes les régions d'une même plante. C'est ce qui n'a pas lieu.

2<sup>o</sup> Quand on fait agir un acide fort sur un sel à acide faible, le déplacement de l'acide faible est ordinairement immédiat. Or, Mangin recommande de laisser l'acide agir pendant vingt-quatre heures sur les tissus. Pourquoi cette longue macération est-elle nécessaire, même si l'acide agit sur des copeaux minces ou sur des coupes? Des essais directs m'ont du reste montré que la chaux est enlevée instantanément, par HCl dilué, au pectate de chaux artificiellement obtenu, soit à l'état libre, soit dans des coupes (voy. p. 116).

3<sup>o</sup> Dans des recherches antérieures<sup>(1)</sup> j'ai pu substituer *entièrement* des alcalis (K ou Na) à la chaux. Si la lamelle moyenne est formée de pectate de chaux, elle doit être transformée en pectate alcalin, soluble. Or, dans ce cas, je n'ai jamais vu même un commencement de dissociation.

De ces divers faits j'ai conclu *qu'il est très improbable que la lamelle moyenne soit formée de pectate de chaux*. Comme, d'autre part, elle semble bien appartenir à la famille pectique, il faut revenir à la première conception de Mangin et de beaucoup d'autres avant lui : cette lamelle moyenne serait *constituée par de la pectose*.

Cette conception n'est pas, *a priori*, contraire aux résultats positifs obtenus par Mangin; seulement, l'acide pectique reconnu par lui au moment de la dissociation ne préexisterait pas : ce serait un produit d'altération de la pectose durant les opérations. L'hypothèse d'une altération semblable a été émise il y a fort longtemps par Mulder<sup>(2)</sup>,

(1) DEVAUX, *Procès-verbaux de la Soc. Linnéenne de Bordeaux*, 3 avril 1901.

(2) V. MANGIN, *loc. cit.*, p. 5.

et je suis surpris que M. Mangin ne s'y soit pas arrêté. En tout cas, si l'on admet que la lamelle moyenne est formée de pectose, les objections faites plus haut ne portent plus :

1° La diversité des résistances à la dissociation résulterait simplement de la diversité des pectoses. Il y aurait non pas une pectose unique, mais des pectoses diverses, hypothèse des plus vraisemblables étant donnée la parenté des composés pectiques avec les hydrates de carbone complexes<sup>(1)</sup>.

2° La nécessité d'une longue macération dans un acide, invraisemblable pour le simple enlèvement d'une base très faiblement retenue, correspondrait à la transformation de la pectose en pectine, phénomène probablement *hydrolytique* qui demande toujours un temps notable.

3° L'absence de dissociation des tissus dans les sels alcalins, malgré la substitution complète d'un métal alcalin au Calcium, correspondrait à ce fait très simple que les combinaisons de la pectose avec toutes les bases, même les alcalis, sont absolument insolubles.

Toutefois, une objection spéciale, très sérieuse, tirée des travaux de Frémy et de Mangin, peut être faite à cette conception nouvelle. *On admet, en effet, depuis Frémy que la pectose n'est pas attaquable à froid par les acides.* Cette opinion est partout acceptée sans conteste par les chimistes les plus autorisés<sup>(2)</sup> ; comment peut-on, dès lors, admettre que la macération à froid puisse produire un phénomène d'hydrolyse sur la lamelle moyenne, si celle-ci est formée de pectose ? Nous verrons, dans le chapitre III, que cette prétendue résistance de la pectose aux acides à froid n'existe pas. Il y a, en réalité, une véritable altération. La pectose ne se dissout pas en général, mais elle est rendue soluble dans les alcalis ou les sels alcalins, absolument comme l'acide pectique. J'ai pu établir le fait simultanément pour la partie de la membrane où la pectose est mélangée à la cellulose, et pour la substance de la lamelle moyenne. C'est l'existence de cette pectose transformée qui, méconnue par les chimistes, a induit M. Mangin en erreur. Il faut reconnaître que cette erreur était presque inévitable pour un naturaliste.

(1) D<sup>r</sup> B. TOLLENS, *Les hydrates de carbone*, trad. par L. Bourgeois, Paris, 1896, p. 241, 557. — A. HÉBERT *Sur les matières pectiques*, *Ann. agronomiques*, t. XXVI, p. 34, 1900.

(2) Voy. par ex. Th. SCHLÖESING, article *Tabac* dans le dict. de Wurtz, ou *Leçons de chimie analytique*, 1884, t. II, 3<sup>e</sup> partie, p. 68 ; et GRANDEAU, *Traité d'analyse des matières agricoles*, 3<sup>e</sup> édition, t. II, p. 117.

### III. — Plan des recherches faites dans ce travail et Technique employée.

Ayant en vue de vérifier si la lamelle moyenne est formée de pectose, c'est-à-dire d'une substance chimique déjà connue et caractérisable par certaines réactions, je me suis attaché tout d'abord à obtenir nettement ces réactions, et très spécialement les suivantes :

1<sup>o</sup> La pectose engendre très facilement de la pectine par les acides dilués bouillants; si la lamelle moyenne est formée de pectose, l'ébullition dans les acides dilués devra dissocier les tissus; de la pectine devra se trouver en dissolution dans le liquide, et l'on pourra la caractériser comme telle, en particulier en la transformant en acide pectique.

J'ai réalisé ces essais, mais en faisant agir les réactifs (acides ou alcalis) en solution dans l'alcool et non pas dans l'eau. On verra plus loin quels sont les avantages considérables de cette technique spéciale.

Ces recherches sont décrites dans le chapitre II.

2<sup>o</sup> En second lieu, je me suis attaché à voir si la pectose et la lamelle moyenne sont vraiment non attaquées par les acides à froid. On verra dans le chapitre III que cette attaque existe réellement et simultanément dans toute l'épaisseur de la paroi, y compris la lamelle moyenne. La comparaison des propriétés de la pectose altérée avec celles de la pectine montrera que leurs réactions sont finalement exactement les mêmes.

3<sup>o</sup> Je me suis préoccupé aussi de savoir pourquoi la dissociation des tissus mous, après macération dans les acides dilués, est grandement facilitée, non seulement par l'emploi des alcalis, mais aussi par celui des sels alcalins. C'est ce qui fait l'objet du chapitre IV.

4<sup>o</sup> En dernier lieu (chapitre V), j'examine divers points secondaires, en particulier la formation de pectate de chaux aux dépens de la lamelle moyenne et la dissociation immédiate de la coupe dans un sel alcalin, la cuisson dans les sels alcalins, la résistance à l'acide sulfurique concentré, etc. Dans un résumé final, je condense les résultats acquis par cette étude.

**TECHNIQUE.** — Comme réactif colorant des substances pectiques je me suis servi presque uniquement du rouge de Ruthénium indiqué



par M. Mangin <sup>(1)</sup>, à cause de la commodité de son emploi. Je me suis attaché à colorer toutes les coupes, même celles ayant subi une action dissociante. Dans ce dernier cas il est, bien entendu, impossible d'enlever la coupe sur une aiguille plate à la manière habituelle, sous peine de la voir se réduire en débris. On arrive facilement à la transvaser ou à la déposer sur une lame de verre, en la versant directement avec une grosse goutte d'eau. Je fais ensuite écouler doucement cette eau en retenant la coupe sur la lame, et je monte dans la gélatine glycinée.

La coloration et les lavages s'effectuent d'une manière analogue.

Cette manière d'opérer serait impossible à réaliser si la dissociation parfaite était atteinte. Mais le plus souvent une cohésion, parfois très faible, mais presque toujours sensible, retient en place les éléments cellulaires. Si du reste il se produit çà et là des déplacements, ce qui a lieu surtout quand on pose la lamelle, le fait n'a aucun inconvénient : il manifeste plus nettement la dissociation.

A l'égard des réactifs capables de transformer la constitution chimique de la paroi (acides, alcalis, sels), j'ai employé très souvent, d'une manière systématique, l'alcool comme dissolvant; c'est la généralisation d'un procédé déjà connu, car Mangin, comme on l'a vu plus haut (voy. p. 94), fait agir sur les tissus mous de l'alcool chlorhydrique. Schlœsing emploie aussi l'alcool chlorhydrique à un autre degré <sup>(2)</sup>. Seulement ces auteurs, ne faisant agir ces solutions qu'à froid, les considèrent comme de simples dissolvants des bases fixées sur les tissus, et des autres substances solubles.

*J'ai reconnu qu'au contraire les acides, même en solution alcoolique, agissent toujours, à froid ou à chaud, sur la pectose et tendent à la transformer en pectine.*

De même les alcalis dissous dans l'alcool transforment la pectine en acide pectique : le fait est connu, M. Schlœsing le signale <sup>(2)</sup>. Mais *les sels dissous dans l'alcool agissent aussi sur la pectine et les corps analogues tout comme en solution aqueuse.* On verra plus loin l'intérêt de ce fait curieux. Il est vrai que beaucoup de sels sont insolubles ou très peu solubles dans l'alcool. Pourtant ils agissent, pourvu qu'il y en ait un peu dans la liqueur. Telle est la solution d'oxalate

<sup>(1)</sup> MANGIN, Sur l'emploi du rouge de Ruthénium, en anatomie végétale (*Comptes rendus Ac. Sc.*, 1893, t. CXVI, p. 653).

<sup>(2)</sup> SCHLÖESING, *loc. cit.*

d'ammoniaque, qui agit fortement quoiqu'elle ne contienne que très peu de sel dissous.

L'iodure de sodium, sel beaucoup plus soluble (53 0/0), m'a donné de beaux résultats.

Deux avantages essentiels résultent de l'emploi de l'alcool comme dissolvant des réactifs transformateurs :

1° Le corps pectique produit étant insoluble dans l'alcool, on peut enlever complètement le réactif par des lavages à l'alcool, puis faire agir soit un autre réactif, soit l'eau. On *sépare donc des réactions* qui d'ordinaire se superposent.

2° Le corps produit étant insoluble dans l'alcool *reste en place*, on peut examiner au microscope la *localisation* des principes altérés, en faisant agir les colorants et les réactifs fixateurs ou dissolvants directement sur la coupe que l'on examine.

Le premier avantage est surtout important au point de vue chimique, le second au point de vue histologique. Un exemple les fera ressortir. Supposons que nous ayons fait bouillir des coupes de tige ou de pétiole pendant dix minutes dans de l'alcool chlorhydrique à  $\frac{1}{10}$ . La pectose y est transformée en pectine, ce que l'on reconnaît facilement en traitant par l'eau. Mais si, au lieu de faire agir ce liquide, la coupe est traitée, après lavage à l'alcool, par une solution alcoolique de soude à  $\frac{1}{10}$ , la pectine est transformée en pectate de soude; cette coupe se dissocierait dans l'eau comme la précédente, mais lavée au préalable par l'alcool chlorhydrique, puis par l'alcool, elle ne se dissocie et ne se gonfle plus dans l'eau, l'acide pectique insoluble ayant été mis en liberté (il est prudent d'employer l'eau faiblement acidulée). Cette analyse des actions successives eût été impossible avec l'emploi de solutions aqueuses.

J'ai éprouvé quelques difficultés pour l'appréciation du temps nécessaire pour obtenir les réactions cherchées. Cette détermination est particulièrement utile pour la transformation de la pectose en pectine par les acides à chaud, car en prolongeant trop l'action, la pectine elle-même s'hydrolyse en donnant des produits qui se dissolvent même dans l'alcool. Il est prudent en général de ne pas dépasser un quart d'heure, souvent cinq ou dix minutes suffisent comme on le verra plus loin.

Toutes les réactions qui se font à froid étant beaucoup plus lentes et s'arrêtant à un stade peu avancé, cette détermination du temps

d'action est moins importante et moins délicate, comme maximum du moins. On peut sans inconvénient sérieux faire agir les réactifs durant des heures et des jours. Mais le minimum de temps nécessaire doit être établi. Souvent il m'est arrivé d'obtenir une transformation imparfaite de la pectine en acide pectique, celui-ci se gonflait dans l'eau (acide pectosique?) parce que l'alcali avait agi trop peu de temps. De même l'action ultérieure de l'eau, surtout à froid, peut être très lente, et ne donner une dissociation sensible qu'après vingt-quatre heures seulement (p. 109). Je tiens à donner ici ces indications afin d'éviter des tâtonnements et surtout des échecs à ceux qui désireront vérifier les faits que j'avance.

## CHAPITRE II

### **Action de l'alcool chlorhydrique bouillant sur les parois des tissus mous.**

**ARALIA SIEBOLDII.** — Des coupes de pétiole d'*Aralia* sont soumises à l'action de l'alcool chlorhydrique à  $\frac{1}{5}$  (alcool, 4 parties; HCl, 1 partie) pendant vingt minutes à froid. Pour terminer l'action, je porte un instant le liquide à l'ébullition au contact des coupes, puis celles-ci sont soigneusement lavées à l'alcool. L'une de ces coupes (*a*) est laissée dans l'alcool, l'autre (*b*) est placée pendant quelques minutes dans la soude alcoolique très diluée; elle est ensuite lavée à l'alcool. Après cela les deux coupes subissent *le même traitement*. Elles sont passées dans l'alcool chlorhydrique, lavées de nouveau à l'alcool et enfin traitées par l'eau chaude *sur la lame*, puis colorées au rouge de Ruthénium et lavées sur la lame, avec beaucoup de précaution car la coupe *a* se désagrège.

Les résultats de ces opérations sont bien différents :

**COUPE *a*.** — La coupe *a* est toute désagrégée dans ses parties périphériques; la cuticule s'est complètement détachée; le collenchyme s'est gonflé et émietté en cellules; la lamelle moyenne, dans l'écorce et le liber, est dissoute. On voit en même temps, en dehors de la coupe, des lambeaux membraneux colorés en rouge; ils représentent une matière gélatineuse dissoute dans l'eau que le réactif a précipitée. Cette même matière s'aperçoit, çà et là, sur la coupe elle-même et un examen attentif montre qu'elle provient des lamelles moyennes disparues. Les parois des cellules, quoique fortement gonflées, se colorent encore assez vivement en rouge dans tous les tissus mous; il y a cependant une tendance à la non-coloration pour le collenchyme et surtout pour le liber.

Coupe *b*. — Cette coupe, qui ne diffère de la précédente que parce qu'elle a été soumise à l'action de la soude alcoolique, puis de l'alcool chlorhydrique, se maintient parfaitement entière; aucune dissociation n'existe nulle part entre les cellules; les parois sont seulement un peu gonflées; elles sont vivement colorées en rouge.

Comment interpréter ces faits :

1<sup>o</sup> Si l'on admet que la lamelle moyenne est formée de pectate de chaux, l'alcool chlorhydrique n'a pu agir qu'en enlevant la chaux. Et comme l'acide pectique est insoluble, la coupe aurait dû ne pas se dissocier; c'est le contraire qui s'est produit.

Si la lamelle moyenne est formée de pectose, l'action de l'alcool chlorhydrique, au moins à chaud, a dû transformer cette pectose en pectine, laquelle est soluble dans l'eau; il a donc dû se produire une dissociation dans ce liquide; c'est bien ce que nous avons observé en effet. Donc la lamelle moyenne des tissus mous du pétiole d'*Aralia* est plutôt formée de pectose que de pectate de chaux. Le précipité gélatineux, obtenu dans la goutte d'eau chaude où s'est produite cette dissociation, représente une combinaison de pectine ou d'un dérivé avec le colorant. La pectose qui existe dans le reste de la paroi n'a guère fait que se gonfler dans cette opération; peut-être pourtant a-t-elle contribué à donner aussi de la pectine dissoute.

2<sup>o</sup> Si la lamelle moyenne est vraiment formée de pectose et que cette pectose ait été transformée en pectine par l'alcool chlorhydrique à chaud, on doit pouvoir transformer cette pectine elle-même en acide pectique au moyen d'un alcali. On le reconnaîtra à ce que la coupe ne se dissociera plus dans l'eau après l'enlèvement de l'alcali par un acide. C'est bien ce qui s'est produit, comme le montre la coupe *b*. Ce deuxième fait est une confirmation directe de notre interprétation: la lamelle moyenne est vraiment formée de pectose et non pas de pectate de chaux.

Lorsque la coupe, traitée par la soude alcoolique, est simplement lavée à l'alcool neutre, et non à l'alcool chlorhydrique, elle se dissocie dans l'eau. C'est que, dans ce cas, la lamelle moyenne est formée d'un pectate alcalin, qui est soluble.

*EVONYMUS JAPONICUS*. — Une coupe d'un rameau jeune d'*Evonymus japonicus* traitée par le rouge de Ruthénium montre une zone épaisse rouge en dehors du bois; cette zone représente l'écorce, le péricycle

et le liber. L'écorce est collenchymateuse, principalement dans une région moyenne, mais aussi dans deux assises sous-épidermiques.

Deux coupes de cette tige sont mises à bouillir pendant 5 minutes dans l'alcool chlorhydrique à  $\frac{1}{5}$ , puis lavées à l'alcool. L'une (a) est traitée directement par l'eau froide, l'autre (b) est traitée auparavant par l'alcool sodique à  $\frac{1}{10}$ , puis à l'alcool chlorhydrique, pour enlever la soude, par l'alcool, et enfin par l'eau froide comme la précédente.

Le résultat ressemble beaucoup à celui obtenu avec l'*Aralia*. La dissociation et le gonflement sont nuls pour la coupe b, ayant subi l'action de la soude, puis de l'acide en solution alcoolique. Il y a, au contraire, gonflement et dissociation partielle pour la coupe a. Nous devons en conclure qu'encore ici la lamelle moyenne est formée de pectose et non pas de pectate de chaux. Toutefois, cette lamelle moyenne présente des résistances très inégales selon les régions. Comme pour l'*Aralia* du reste, la moelle ne s'est pas dissociée du tout; le liber se dissocie, mais les cellules restent attachées par des parties de la lamelle moyenne qui subsistent aux angles comme un point rouge et qui se prolongent un peu dans les cloisons radiales exclusivement; les parois tangentielles du liber et du cambium sont entièrement incolores. Dans l'écorce, il y a dissociation imparfaite du parenchyme lacuneux. Le collenchyme présente une dissociation complète dans le sens tangentiel exclusivement; de sorte que cette région de l'écorce tend à donner des files de cellules tangentielles en forme d'anneaux. La paroi tangentielle est d'un rose très pâle, tandis qu'au contraire les parois radiales sont fortement colorées en rouge.

Ces divers faits montrent qu'au pourtour d'une même cellule la paroi présente des résistances différentes à l'hydrolyse par les acides. La pectose, qui entre dans la constitution des parois tangentielles du collenchyme et du liber, dans toute l'épaisseur de ces parois y compris la lamelle moyenne, est plus facilement transformée en pectine que celle des parois non tangentielles. Nous devons donc admettre comme probable que la lamelle moyenne de la moelle, et celle des autres tissus qui ne se dissocient pas dans les conditions précédentes, est constituée par une pectose plus résistante. Nous verrons dans la suite qu'il en est bien ainsi.

**AUCUBA JAPONICA.** — Une jeune tige d'*Aucuba japonica* est soumise au même traitement que le fusain dans le cas précédent. Les résultats

sont absolument identiques, principalement pour le collenchyme, dont la résolution en files tangentielles est particulièrement frappante. Toutefois, la lamelle moyenne est en partie dissoute, même dans les parois radiales. On le voit nettement au microscope, après coloration au rouge de Ruthénium, chaque paroi radiale dessine une ligne rouge assez épaisse au milieu de laquelle on aperçoit un espace plus clair correspondant à la lamelle moyenne plus ou moins dissoute.

**ASPIDISTRA ELATIOR.** — Le pétiole de cette Monocotylédone possède un parenchyme abondant qui se colore fortement par le rouge de Ruthénium. Les faisceaux libéro-ligneux et surtout leur gaine fibreuse ne prennent au contraire le rouge que d'une manière nulle ou beaucoup moindre. Des méats nombreux et grands existent dans la totalité de ce pétiole, ils deviennent petits uniquement dans la couche collenchymateuse sous-épidermique.

Une coupe semblable, traitée à l'ébullition par l'alcool chlorhydrique à  $\frac{1}{8}$  pendant cinq minutes et ensuite par l'eau froide, se colore beaucoup moins par le rouge de Ruthénium qu'auparavant. La différence est très marquée à l'œil nu. Il est donc disparu par hydrolyse une grande partie de la pectose. Malgré cela, la dissociation de la coupe est très imparfaite, elle n'existe guère que pour la région collenchymateuse sous-épidermique. Partout ailleurs, les cellules restent intimement unies. Les parois ont en effet gardé leur pectose dans tous les points où elles confinent à une autre cellule; elles l'ont perdue au contraire le long des méats. On le reconnaît à ce fait, extrêmement marqué, que la paroi de chaque cellule, soit dans l'écorce, soit dans la moelle, est formée de parties alternativement rouges et incolores. Les parties rouges correspondent aux surfaces de contact de la cellule avec ses voisines; les parties incolores correspondent aux méats. Un examen attentif des parties rouges, c'est-à-dire des surfaces de contact, montre du reste que la matière colorante n'a vraiment été fixée que par la lamelle moyenne, le reste de la paroi étant incolore. La lamelle moyenne forme un bourrelet rouge du côté de chaque méat, ce qui correspond à la coupe du cadre pectique que forme cette lamelle moyenne le long du cercle de contact. Dans le collenchyme lui-même, cet aspect existe dans les endroits non dissociés par tiraillements.

L'interprétation de ces faits est particulièrement intéressante. L'ac-

tion de l'alcool chlorhydrique sur la pectose a donné un corps soluble dans l'eau qui ne peut être que la pectine. Cette action s'est produite, *non pas aux dépens de la lamelle moyenne, puisque celle-ci a subsisté presque partout, mais aux dépens de la pectose des épaissements cellulosiques de la paroi*. Elle s'est aussi produite aux dépens du revêtement des méats, puisque ce revêtement ne s'est plus coloré par le rouge.

D'après les recherches de Mangin (1), le revêtement des méats est de la même nature que la lamelle moyenne, c'est-à-dire, selon son opinion, du pectate de chaux. Nous voyons qu'au contraire, c'est de la pectose.

Une autre coupe de pétiole d'*Aspidistra*, traitée de la même manière que la précédente par l'alcool chlorhydrique, a été soumise à l'action de la soude alcoolique à  $\frac{1}{10}$  afin de transformer la pectine en pectate de soude, cette transformation a eu lieu en effet, car la coupe, privée de sa soude par de l'alcool chlorhydrique, puis mise dans l'eau, se colore vivement en rouge dans toutes ses parties. Il est important de remarquer que non seulement il n'y a aucune dissociation, mais encore que la fixation du rouge est bien plus énergique que sur une coupe naturelle.

Nous pouvons donc conclure que dans l'*Aspidistra*, la lamelle moyenne paraît formée d'une pectose plus résistante que celle des épaissements cellulosiques.

Pour être certain que cette interprétation est fondée, il faut obtenir la transformation en pectine même pour la lamelle moyenne. C'est ce que j'ai fait en faisant bouillir les coupes dans l'alcool chlorhydrique non plus 5, mais 10 et 15 minutes. Les coupes, lavées à l'alcool, se dissocient alors facilement de partout, et ne fixent plus du tout le rouge de Ruthénium. Les lamelles moyennes ont donc été dissoutes entièrement. En revanche si l'action de l'eau est précédée de celle de l'alcool sodique, suivie d'un lavage à l'alcool chlorhydrique, puis à l'alcool, les lamelles moyennes subsistent et la coupe entière fixe encore le rouge aussi fortement qu'une coupe naturelle. C'est que dans ce cas la pectine a été transformée en acide pectique, insoluble dans l'eau. La coupe reste alors sans se dissocier, du moins la coupe de 10 minutes; l'autre est devenue fragile, quoiqu'elle se colore bien, sans doute parce qu'une partie de la lamelle moyenne a été partiellement hydrolysée au delà du terme acide pectique.

(1) MANGIN, *loc. cit.*, p. 26, etc.



AUTRES PLANTES. — Des recherches analogues ont été faites sur un grand nombre de plantes. Ces recherches nous ont permis de reconnaître que les résultats précédents sont vraiment généraux :

1° Partout, le traitement par l'alcool chlorhydrique bouillant, durant un temps suffisant, produit une transformation qui, pour la lamelle moyenne, est identique avec celle de la pectose du reste de la paroi; c'est-à-dire qu'il y a toujours tendance à la dissociation des cellules par formation d'un corps soluble dans l'eau, avec diminution ou disparition du pouvoir basophile.

2° Partout aussi l'action successive d'un alcali, puis d'un acide, pris en solution alcoolique, transforme ce corps soluble dans l'eau en un corps insoluble, et dont le pouvoir basophile est très augmenté.

3° Ces deux réactions successives, ne permettent pas d'admettre que la lamelle moyenne soit formée de pectate de chaux; elles permettent au contraire de considérer cette lamelle comme formée de pectose : de telle sorte que la paroi, dans toute son épaisseur, posséderait de la pectose, laquelle serait seulement imprégnée de cellulose de part et d'autre d'une région mitoyenne qui en est dépourvue.

4° Mais la pectose intercellulaire présente des variations de résistance selon les plantes, selon les tissus, selon même la partie de la paroi considérée, comme j'en ai montré des exemples plus haut; et, de plus, elle se trouve tantôt moins résistante que la pectose des épaississements et tantôt plus. Le premier cas paraît réalisé surtout dans les tissus collenchymateux (collenchyme, liber, parenchyme péri-médullaire), le second dans les autres tissus mous, principalement dans ceux de la moelle.

C'est par tâtonnements que j'ai adopté la durée de 5 minutes comme temps nécessaire pour produire une action convenable de l'alcool chlorhydrique à  $\frac{1}{2}$  bouillant. Pour beaucoup de plantes cette action suffit en effet; telles sont, par exemple : *Rosa canina* (pousse nouvelle), *Malva silvestris*, *Anemone nemorosa*, *Peperonia sp.*, *Carduus tenuiflorus*, *Herodium cicutarium*, *Sinapis nigra*, *Calendula arvensis*, *Glaucium luteum*, *Fumaria officinalis*, *Senecio vulgaris*, *Primula sinensis*, *Brassica rapa*, *Saponaria officinalis*, *Euphorbia Peplus*, *Ficus elastica*, *Magnolia grandiflora*. Pour toutes ces plantes, l'action hydrolysante d'HCl alcoolique a rendu la lamelle moyenne d'une partie des tissus tout à fait soluble dans l'eau, car il s'est produit toujours dissociation en même temps que coloration moindre

par le rouge de Ruthénium. Pour toutes aussi, la dissociation est complètement empêchée et l'affinité pour la matière colorante est au contraire augmentée si l'action de l'acide est suivie de l'action d'un alcali, puis d'un nouveau passage dans l'alcool chlorhydrique avant l'action de l'eau.

Pour d'autres plantes, la dissociation ne se produit pas dans ces conditions ou est très imparfaite pour tous les tissus. Il faut, pour pouvoir l'obtenir, faire agir l'alcool chlorhydrique bouillant à  $\frac{1}{5}$  un peu plus longtemps, 10 minutes par exemple. Telles sont, avec *Aspidistra elatior* déjà signalé : *Ampelopsis hederacea*, *Begonia Rex*, *Narcissus Pseudo-Narcissus*, *Sonchus oleraceus*, *Centranthus ruber*, *Solanum tuberosum*, *Iris Pseudo-Acorus*, *Equisetum maximum*, *Daucus Carota*, *Raphanus sativus*, *Valerianella olitoria*, *Pteris aquilina*, *Cycas revoluta*, etc.

Pour ces plantes, 5 minutes d'action de l'alcool chlorhydrique bouillant diminuent presque toujours beaucoup le pouvoir basophile. La dissociation ne se produit pourtant pas ou seulement d'une manière imparfaite çà et là (exemple : *Pteris*, *Cycas*, *Iris*, tubercules de pommes de terre, etc.). Ce sont des plantes dans lesquelles la pectose de la lamelle moyenne présente partout une résistance analogue à celle du reste de la paroi, ou plus forte (*Aspidistra*). L'affaiblissement du pouvoir basophile est surtout marqué pour les tissus d'organes souterrains, tubercules et racines.

CONCLUSIONS. — 1° La substance pectique constituant la lamelle moyenne des tissus mous se comporte comme une pectose et non comme du pectate de chaux : elle s'hydrolyse à chaud en quelques minutes en même temps que la pectose du reste de la paroi, sous l'influence de l'acide chlorhydrique employé en solution alcoolique à  $\frac{1}{5}$ .

2° Le corps soluble produit par cette hydrolyse est de la pectine, car il se transforme en acide pectique par les alcalis.

3° La pectose de la lamelle moyenne présente des degrés divers de résistance à la transformation en pectine ; le même fait se produit pour la pectose qui, mélangée à la cellulose, constitue les épaisissements des parois. Tantôt la pectose intercellulaire est moins résistante, et alors la dissociation est facile ; tantôt c'est l'inverse, et alors elle est difficile.

## CHAPITRE III

### Action des acides à froid.

Nous avons employé, dans l'étude précédente, l'alcool chlorhydrique bouillant; au contraire, M. Mangin ne fait agir l'alcool chlorhydrique qu'à la température ordinaire. Il y a là une importante différence dans les traitements. Et quoique les résultats acquis par cette première méthode ne soient guère susceptibles d'une interprétation autre que celle que j'ai adoptée, j'ai voulu me placer dans des conditions identiques à celles dans lesquelles se place M. Mangin. Celui-ci ne fait agir l'acide qu'à froid, justement pour éviter la transformation de la pectose en pectine, car on admet que la pectose est inaltérable dans les acides à froid (voy. pp. 96 et 98), tandis qu'elle est rapidement hydrolysée dans les acides bouillants même dilués. Cette recherche m'a révélé des faits nouveaux et intéressants dont le principal est *que la prétendue inaltérabilité de la pectose par les acides à froid est une erreur*. La pectose est toujours altérée même à froid par les acides : elle peut être rapidement transformée en pectine dissoute par les acides forts concentrés, ou bien elle est transformée par les acides dilués en une modification qui la rapproche singulièrement de la pectine.

A la suite des résultats obtenus dans les premiers essais sur un grand nombre de plantes, il est évident qu'il suffit de faire les recherches sur une seule espèce; les conclusions acquises pour cette plante seront d'ordre général. J'ai choisi le pétiole d'*Aralia Sieboldii*, dont il est toujours facile de se procurer des échantillons, et dont les tissus nous présentent les diverses variétés de pectosés diversement réparties.

ARALIA. — Des coupes de pétiole d'*Aralia* sont placées dans l'alcool chlorhydrique au quart pendant vingt-quatre heures, puis mises dans l'eau. *Aucune dissociation ne se produit*, immédiatement du moins;

on voit seulement un gonflement peu accentué se produire dans le collenchyme et aussi dans la région du liber correspondant aux tubes criblés. Si la coupe est colorée au bout de cinq minutes de séjour dans l'eau froide, on constate que le colorant est diffluent dans toute la région du liber comme s'il existait dans cette région une substance gélatineuse donnant, non pas une véritable dissolution, mais plutôt une sorte de mucilage très gonflé. Si l'on fait bouillir dans l'eau pendant deux minutes, cet effet s'accroît notablement; il se manifeste aussi pour le collenchyme. On observe de plus pour cette région une dissolution de la lamelle moyenne avec dissociation tangentielle des cellules. Un séjour de vingt-quatre heures dans l'eau froide produit un effet analogue, mais un peu moins marqué. La coloration des parois est toujours vive, mais fortement diffluente dans le collenchyme.

De ces faits il résulte avec évidence que la totalité de la paroi (collenchyme et liber), mais principalement la lamelle moyenne, a été altérée par l'alcool chlorhydrique.

Cette altération se manifeste en un temps beaucoup plus court que vingt-quatre heures. Ainsi, deux coupes d'*Aralia* ont été placées dix minutes seulement dans l'alcool chlorhydrique à 25 0/0 froid, puis soumises à l'action de l'eau froide ou de l'eau chaude durant vingt-cinq minutes. Dans l'eau froide, l'aspect de la coupe est à peu près semblable à celui d'une coupe naturelle ou, plus exactement, d'une coupe naturelle bouillie le même temps dans l'eau, sans passage préalable par l'alcool chlorhydrique. Le collenchyme y est toutefois plus gonflé et un peu plus coloré. La lamelle moyenne surtout est, dans les deux, vivement colorée; au contraire, dans le liber la coloration est relativement faible, sauf dans les angles des cellules de la région qui confine au péricycle.

La coupe qui a été soumise au contraire à l'action de l'eau bouillante pendant vingt-cinq minutes, après l'action de l'alcool chlorhydrique à froid pendant dix minutes, présente des transformations extrêmement remarquables.

1° Le *collenchyme* se dissocie partout en files tangentielles. Ses cellules restent unies par les cloisons radiales, qui se colorent vivement en rouge; mais la coloration est diffluente à partir de la lamelle moyenne. Ce fait coïncide avec un gonflement extraordinaire de la paroi collenchymateuse, gonflement tel qu'il arrive à oblitérer à peu

près complètement la cavité de la cellule. Cette cavité ne dessine plus qu'une sorte d'étoile délicate, au milieu des parois démesurément gonflées. Le rouge de Ruthénium est fixé un peu par les régions tangentielles de la paroi, surtout vers l'extérieur dans la partie qui confinait à la lamelle moyenne; quant à cette lamelle moyenne elle-même, elle a complètement disparu, elle n'est plus représentée que par un espace incolore.

Les faits observés ici, pour le cas particulier du collenchyme, correspondent bien avec ce que nous avons observé antérieurement (voy. p. 107). L'acide chlorhydrique froid a attaqué les parties pectiques de la cellule d'une manière inégale. Après son action, la lamelle moyenne tangentielle est devenue entièrement soluble dans l'eau bouillante; les épaisissements des parois s'y sont seulement fortement gonflés, mais en perdant une partie de leur pouvoir basophile. Enfin, les lamelles moyennes des cloisons radiales se sont montrées le plus résistantes.

Arrêtons-nous un instant à l'examen de cette première partie de la coupe. Il est évident que l'acide chlorhydrique et l'eau n'ont pu produire leurs effets que sur les substances pectiques de la paroi; la cellulose y est complètement étrangère à cause de sa résistance propre. Or, nous voyons *autour d'une même cellule*, que les parties de la paroi qui contiennent de la pectose mélangée à de la cellulose ont manifesté des réactions exactement intermédiaires entre celles manifestées par deux portions de la lamelle moyenne. Cette pectose, de l'épaisseur des parois, s'est seulement fortement gonflée; la substance de la lamelle moyenne s'est au contraire complètement dissoute dans les parties tangentielles de la paroi tandis qu'elle est restée insoluble dans les parties radiales. De plus, cette lamelle moyenne indissoute a gardé le pouvoir basophile le plus intense.

1° Ces faits sont d'accord avec nos conclusions antérieures.

a. Il n'y a pas de différence de nature à établir entre la substance de la lamelle moyenne et la pectose des parois.

b. C'est partout de la pectose qui existe, avec des résistances inégales.

2° L'écorce présente des modifications également profondes. Il n'y a pas de dissociation, mais il y a partout gonflement des parois, avec affaiblissement du pouvoir basophile. Toutefois, dans toutes les surfaces de contact, la lamelle moyenne a subsisté et se colore fortement en rouge, surtout à la périphérie du cadre d'union où elle forme un

bourrelet. Le long de la surface interne des méats elle est au contraire en grande partie dissoute. La pectose des parois cellulaires de l'écorce a donc aussi été altérée par l'action de l'alcool chlorhydrique froid suivie de celle de l'eau chaude durant vingt-cinq minutes, mais cette action est un peu moindre que dans le collenchyme; les lamelles moyennes y semblent partout constituées par une pectose résistante semblable à celle de la lamelle moyenne des parois radiales du collenchyme.

3° *Péricycle, liber et cambium.* — Dans cette région, l'altération est considérable; surtout dans la région des tubes criblés, où le pouvoir basophile a presque complètement disparu dans toute l'épaisseur de la paroi, y compris la lamelle moyenne. Il est impossible de distinguer la structure, sans doute à cause d'un fort gonflement qui a dû précéder la dissolution. Pour le cambium, l'effet est très analogue. Dans la région péricyclo-libérienne, on voit des points rouges aux angles des cellules; ils correspondent à ce qui reste des lamelles moyennes.

4° *Parenchyme péri-médullaire.* — A la pointe interne des faisceaux il se trouve normalement un parenchyme à petites cellules, assez analogue au parenchyme péricyclo-libérien. Ce parenchyme s'est comporté absolument de la même manière; il a subi un gonflement excessif, la structure est disparue et le rouge de Ruthénium n'est plus fixé que très faiblement et d'une manière diffuse.

5° *Moelle.* — La moelle se comporte à peu près comme l'écorce, mais le gonflement des parois y est très faible.

CONCLUSIONS. — J'ai varié l'essai précédent de plusieurs manières : en prolongeant ou diminuant l'action de l'alcool chlorhydrique froid, celle de l'eau froide et celle de l'eau chaude.

J'ai aussi employé l'acide chlorhydrique à 30/0, en solution aqueuse et non pas alcoolique. Les effets ont été toujours analogues aux précédents. La lamelle moyenne s'est comportée comme une pectose, pas du tout comme du pectate de chaux.

La principale conclusion à retirer de ces essais est la suivante :  
1° *La pectose des parois cellulaires des tissus mous du pétiole de l'Aralia est toujours attaquée à froid, même au bout de très peu de temps 5, 10, 15 minutes, par HCl alcoolique à 25 0/0 ou par HCl aqueux à 3 0/0.*

2° *La lamelle moyenne se comporte dans la circonstance absolument*

*comme une pectose; mais il y a des pectoses de résistances différentes jusque dans les diverses parties d'une même paroi.*

Cette altération à froid de la pectose par les acides employés comme nous venons de l'indiquer est très peu perceptible quand la coupe est placée dans l'eau froide; elle ne nous a été révélée d'une manière bien nette que par l'eau bouillante. On peut pourtant la révéler à froid par l'action de l'oxalate d'ammoniaque ou de tout autre sel alcalin, ou encore par l'action des alcalis en solution aqueuse ou alcoolique. Ces divers réactifs employés à froid agissent alors sur les coupes avec puissance, dissociant et gonflant les parois cellulaires aussi bien ou mieux que l'eau bouillante.

Ces transformations physiques sont accompagnées de modifications chimiques : il y a production de pectine ou d'acide pectique. C'est ce que démontrent les observations suivantes, dans lesquelles j'ai spécialement porté mon attention sur la *dissociation*, c'est-à-dire sur la *dissolution de la lamelle moyenne*.

## CHAPITRE IV

### Action des sels.

Pour continuer et nous rapprocher le plus possible des conditions dans lesquelles M. Mangin obtient la dissociation des tissus mous, nous devons maintenant aborder l'action des sels sur la pectose altérée à froid par les acides. On sait en effet que l'*acide pectique* est soluble dans les sels alcalins. Il est assez singulier de rencontrer une action solubilisante semblable de la part des sels agissant sur la *pectose altérée par les acides*. Comme je l'ai dit plus haut, cette ressemblance curieuse est une des causes principales de la confusion commise au sujet de la constitution de la lamelle moyenne.

Mes essais ont porté, comme dans le cas précédent, sur des coupes de pétiole d'*Aralia*, parce que les différents tissus mous de ce pétiole contiennent les différentes pectoses que l'on rencontre d'ordinaire. Je m'en suis tenu, du reste, à la question de la lamelle moyenne, dont j'ai démontré plus haut la nature pectosique.

Des coupes de pétiole d'*Aralia* ont été d'abord soumises à l'action de l'acide chlorhydrique alcoolique à  $\frac{1}{2}$  durant 24 heures ou plus. La pectose est ainsi rendue attaquable.

**ACTION DE L'OXALATE D'AMMONIAQUE EN SOLUTION AQUEUSE.** — Il y a dissociation presque immédiate du collenchyme avec fort gonflement des parois. Cet oxalate étant à réaction nettement alcaline, il y a lieu de faire un autre essai. J'acidule fortement la solution aqueuse par de l'acide acétique. La dissociation est plus rapide encore; elle porte non seulement sur le collenchyme, mais aussi sur le parenchyme cortical. S'est-il dans ce cas formé de l'acide pectique malgré la présence de l'acide acétique? Ou bien s'est-il formé de la pectine aux dépens de la lamelle moyenne? C'est ce qu'il faut déterminer.

**ACTION DE L'OXALATE D'AMMONIAQUE EN SOLUTION ALCOOLIQUE.** — Des coupes, traitées par l'acide chlorhydrique alcoolique, sont mises dans



de l'alcool saturé d'oxalate d'ammoniaque : les unes, à froid pendant 2 heures; les autres, à chaud pendant 4 minutes. Le résultat est très analogue dans les deux cas. Ces coupes sont retirées, lavées à l'alcool; l'une est traitée par l'eau froide : son collenchyme se dissocie aussitôt, la pectose constituant la lamelle moyenne a donc été transformée soit en pectine, soit en pectate d'ammoniaque (ou bien en oxalo-pectate)? Une autre coupe, avant d'être mise dans l'eau, est traitée par l'alcool chlorhydrique à  $\frac{1}{4}$  pendant 2 à 3 minutes. Soumise ensuite à l'action de l'eau froide, elle reste intacte : son collenchyme ne se gonfle pas et il n'y a pas du tout dissociation. C'est l'indice que la substance qui se gonflait avant l'action de HCl et qui ne se gonfle plus, était un pectate alcalin soluble que l'acide a réduit à l'état d'acide pectique insoluble.

Donc, la pectose transformée par l'alcool chlorhydrique à froid, traitée par l'oxalate d'ammoniaque en solution alcoolique donne de l'acide pectique et non pas de la pectine.

Un essai au tournesol nous ayant montré plus haut que l'oxalate employé est nettement alcalin, il y a lieu de voir si la transformation en acide pectique ne serait pas due à cette alcalinité. On sait, en effet, qu'il suffit de traces d'un alcali pour transformer la pectine en acide pectique.

Une coupe traitée 24 heures par l'alcool chlorhydrique, puis 25 minutes par l'oxalate d'ammoniaque dissous dans l'alcool et acidulé par quelques gouttes d'acide acétique, se dissocie facilement dans l'eau. Si on la traite par l'alcool chlorhydrique de manière à enlever toute base combinée, la dissociation se produit encore mieux. Le résultat est donc complètement différent de celui obtenu dans le cas précédent. *La lamelle moyenne n'a plus été transformée en acide pectique insoluble, mais en pectine soluble.*

Comme contrôle, j'ai placé une coupe, ayant subi l'action de l'alcool, chlorhydrique dans l'eau acidulée à l'acide acétique : aucune dissociation ne s'est produite. La transformation est donc due à l'oxalate d'ammoniaque et non à l'acide acétique; celui-ci n'agit que pour empêcher l'action de se prolonger au delà du terme pectine.

Ce terme est au contraire facilement dépassé, sur ces coupes ayant subi l'action de l'oxalate alcoolique acidulé, si l'on fait agir la soude alcoolique : c'est une preuve qu'il s'agit bien de pectine. A la suite d'un traitement par la soude alcoolique, la dissociation se produit encore

dans l'eau, parce qu'il s'est produit un pectate alcalin ; mais elle ne se produit plus du tout si l'action de l'eau est précédée de celle de l'alcool chlorhydrique : la lamelle moyenne a en effet été transformée en acide pectique insoluble.

**CONCLUSIONS.** — La lamelle moyenne des parois cellulaires du collenchyme, du liber et même de l'écorce, attaquée d'abord par un acide à froid en solution alcoolique, est transformée par l'oxalate d'ammoniaque en pectine si la réaction se fait en milieu acide ; en pectate, si le milieu est alcalin.

J'ai obtenu des résultats semblables avec le chlorhydrate d'ammoniaque et surtout avec l'iodure de sodium ; avec ce dernier corps toutefois, la transformation en pectine semble plus facile que celle en acide pectique : la pectine se produit non seulement en milieu neutre ou acide, mais peut-être aussi, du moins en partie, en milieu alcalin, en même temps que de l'acide pectique.

## CHAPITRE V

### Vérifications diverses et Conclusions.

J'ai dit, au début de cette étude (p. 96), qu'il était bien probable que le Calcium uni à l'acide pectique serait immédiatement enlevé par un acide fort, mais je ne l'ai pas démontré. J'ai aussi rappelé le déplacement des bases fixées dans la paroi par d'autres bases présentées à l'état de sel. Or, dans les tissus naturels la substance basophile est la pectose, et l'on doit se demander si le même phénomène se produirait sur un pectate. La solution de ces deux questions est nécessaire pour l'étude complète du problème de la lamelle moyenne.

DÉPLACEMENT DU CALCIUM UNI A L'ACIDE PECTIQUE. — 1° J'ai préparé du pectate de chaux avec de la pulpe de trèfle nouvellement poussé (mars 1903). Cette pulpe obtenue au mortier de fer, lavée à l'eau, puis à l'alcool, a été bouillie pendant 5 minutes dans l'eau de chaux afin de transformer directement une partie de la pectose en acide pectique, ou plutôt en pectate de chaux. La pulpe est alors jetée sur un filtre, et traitée par HCl à 5 0/0 durant 5 minutes au plus, lavée à l'eau distillée et enfin traitée par l'ammoniaque. Celle-ci dissout l'acide pectique libéré par l'acide, comme on peut le vérifier en traitant par l'eau de chaux la liqueur filtrée; elle donne des grumeaux abondants colorables au bleu de méthylène. Ces grumeaux se dissolvent *de suite* dans KCl à 20 0/0. Donc :

a. Le pectate de chaux est immédiatement privé de son Calcium par HCl dilué.

b. Il se dissout immédiatement dans KCl à  $\frac{1}{5}$ .

2° Une coupe d'*Aralia*, bouillie d'abord un moment dans l'eau de chaux, est ensuite placée dans KCl à  $\frac{1}{5}$ ; au bout de très peu de temps elle s'y désagrège. C'est qu'ici encore la chaux a attaqué la pectose en donnant du pectate de chaux, principalement dans la lamelle moyenne; puis, en présence du sel alcalin abondant, le pectate calcique est devenu un pectate alcalin par double échange.

Dans une coupe naturelle, c'est-à-dire non bouillie dans l'eau de chaux, le sel alcalin chasse tout aussi complètement la chaux<sup>(1)</sup>; mais il ne se produit pas alors la moindre dissociation, parce que la lamelle moyenne est à l'état *de pectose et non d'acide pectique*.

**CUISSON DANS LES SELS ALCALINS.** — Les faits précédents permettent de comprendre pourquoi la dissociation est particulièrement rapide par cuisson dans les sels alcalins. A froid, les sels alcalins (KCl, NaCl, oxalate d'AzH<sup>4</sup>), et les alcalis dilués (2 0/0) et renouvelés, ne dissolvent pas du tout la lamelle moyenne même après une macération prolongée durant plusieurs jours.

Au contraire, à chaud la dissociation est rapide. Je l'ai vue commencer parfois au bout de 2 minutes (KCl, KOH); elle commence un peu plus tard avec l'oxalate d'ammoniaque, mais au bout de 15 minutes elle était très avancée.

L'action des sels alcalins est double :

1° Ils enlèvent toutes les bases terreuses et les remplacent par des bases alcalines.

2° Ils transforment la lamelle moyenne, et le reste de la pectose des parois, en pectine si le milieu est acide, en acide pectique s'il est alcalin (voyez chapitre IV).

La part des sels, organiques ou minéraux, dans la cuisson des légumes est donc d'une importance analogue à celle des acides ou des alcalis. Ce fait est intéressant au point de vue de la pratique culinaire.

**PRÉPARATION DE LAMELLES MOYENNES RÉSISTANT A L'ACTION DE L'ACIDE SULFURIQUE CONCENTRÉ.** — L'acide sulfurique, qui permet d'isoler parfois les lamelles moyennes, a fait aussi regarder celles-ci comme constituées par une substance très différente du reste de la paroi (p. 90). En réalité, cette réaction ne réussit bien que pour la préparation de la *lamelle moyenne des tissus lignifiés*. Pour les tissus mous, le réactif produit partout un gonflement énorme, dans lequel il est bien difficile d'apercevoir çà et là de vagues débris de la lamelle moyenne, tout à fait méconnaissables. Mais j'ai pu conserver cette lamelle, et même

(<sup>1</sup>) DEVAUX, *Généralité de la fixation des métaux par la paroi cellulaire* (Proc.-verbaux de la Société Linnéenne de Bordeaux, 3 avril 1901).

la totalité de la paroi, dans  $\text{SO}_3\text{H}^+$  concentré, en traitant d'abord la coupe par un alcali (soude alcoolique à  $\frac{1}{16}$  durant 24 heures à froid ou quelques minutes à chaud). Même après une demi-heure dans l'acide pur, la structure est partout conservée. Les lamelles moyennes, surtout celles du collenchyme, sont bien visibles, mais aussi l'épaisseur totale des parois. J'ai lavé une de ces coupes, puis l'ai colorée et montée, ce qui prouve sa très grande résistance.

On comprend ce qui a eu lieu : Sous l'influence de l'alcali il se produit de l'*acide pectique* ou une modification analogue aux dépens de la pectose. *C'est ce corps et non la pectose qui présente une grande résistance aux acides les plus concentrés.* J'ai conservé des coupes durant 40 heures dans  $\text{HCl}$  fumant sans aucune altération ; au contraire, cet acide gonfle très vite une coupe naturelle et la dissocie. De même j'ai conservé plus de 8 jours des coupes *décellulosées* dans  $\text{AzO}_3\text{H}$  fumant. Elles en ont été retirées entières et, quoique très molles, ont pu être colorées. Dans ce cas, c'est l'action de la liqueur de Schweitzer qui avait produit l'altération pectique de la pectose.

## CONCLUSIONS GÉNÉRALES

1. — Avec M. Mangin et la plupart des botanistes actuels, j'ai admis au début de cette étude que les substances non cellulosiques de la paroi des tissus mous appartiennent aux composés pectiques. En fait, les réactions prévues en partant de cette hypothèse se sont toujours produites; aucune réaction contraire n'a été observée. Cette concordance est un appoint nouveau en faveur de la réalité de la constitution pectique.

2. — Toutefois, ces réactions ont démontré aussi avec certitude que *la lamelle moyenne ou substance intercellulaire n'est pas constituée dans les tissus mous par du pectate de chaux mais par de la pectose*. Sur ce point spécial, il faut donc modifier les conclusions généralement admises aujourd'hui depuis les travaux de M. Mangin.

3. — Dès lors, la pectose existe dans toute l'épaisseur de la paroi; elle est seulement non imprégnée de cellulose dans la lamelle moyenne. Par conséquent, ce terme de *lamelle moyenne*, purement topographique, doit être préféré à celui de *substance intercellulaire*, qui semblerait indiquer une constitution propre, distincte de celle du reste de la paroi.

4. — On démontre facilement l'identité de constitution de la substance de la lamelle moyenne et de la pectose des parois par l'identité des réactions.

Ainsi par les acides dilués ou bien par l'alcool chlorhydrique (à  $\frac{1}{4}$  ou  $\frac{1}{8}$ ), employés à chaud, la lamelle moyenne engendre un corps gélatineux soluble dans l'eau, que les alcalis transforment en un corps gélatineux insoluble dans l'eau mais soluble dans les alcalis. Ces corps présentent donc les caractères de la pectine et de l'acide pectique, et leur substance mère ne peut être que de la pectose, si du moins l'on admet l'hypothèse du début.

5. — Ces mêmes réactions démontrent aussi *qu'il existe, non pas une pectose, mais plusieurs substances de ce nom; ou du moins que la pectose présente des résistances variables à l'attaque par les réactifs*.

La pectose de la lamelle moyenne est tantôt plus, tantôt moins attaquable que celle du reste de la paroi, et ces différences peuvent se manifester non seulement entre tissus différents, mais autour d'une même cellule.

6. — De là *les différences dans les aptitudes à la dissociation*, différences incompréhensibles si la lamelle moyenne est formée de pectate de chaux, et pourtant très manifestes non seulement entre plantes ou tissus différents, mais encore au sein d'un même tissu. Par exemple, les lamelles moyennes tangentielles du collenchyme sont en général plus faciles à dissoudre que les radiales, ce qui donne une dissociation en chapelets tangentiels.

7. — Contrairement à l'opinion des chimistes, la *pectose*, celle en particulier de la lamelle moyenne, *est toujours attaquable par les acides, même à froid*, dilués ou non, en solution alcoolique aussi bien qu'en solution aqueuse. L'attaque est souvent sensible au bout de 5 minutes, et surtout au bout de 10 à 15 minutes. Une action très prolongée ne la pousse jamais bien loin, le stade pectine n'est généralement pas atteint.

8. — Le corps engendré est intermédiaire entre la pectose et la pectine. C'est pour cela qu'une coupe ainsi traitée ne se dissocie pas dans l'eau froide. Cependant les parois les plus attaquables se gonflent peu à peu dans ce liquide et la dissociation peut même s'y produire à la longue. Par l'eau chaude, par les alcalis et par les sels alcalins, la dissociation est beaucoup plus rapide et plus complète.

C'est cette pectose altérée que l'on a pu prendre pour de l'acide pectique à cause de la ressemblance de leurs réactions en présence des alcalis ou des sels.

9. — Si l'on fait agir un sel alcalin en solution alcoolique sur une coupe traitée auparavant par un acide à froid, la pectose de la lamelle moyenne est transformée en pectine si le milieu est neutre ou acide, en acide pectique s'il est alcalin. La même chose a lieu avec les solutions aqueuses de sels alcalins, ce qui explique l'action dissociante des sels dans la méthode générale préconisée par M. Mangin.

10. — La lamelle moyenne des tissus mous devient particulièrement résistante à l'action des acides les plus violents, même concentrés, mais non chauffés, quand elle a été transformée en acide pectique par des réactifs. A l'état naturel, cette lamelle moyenne ne présente qu'une résistance analogue à celle du reste de la paroi.

# STABILITÉ ET VISCOSITÉ

Par M. P. DUHEM

PROFESSEUR DE PHYSIQUE THÉORIQUE A LA FACULTÉ DES SCIENCES

DE BORDEAUX

## I

La discussion de la stabilité de l'équilibre d'un système soumis à des actions extérieures dérivant d'un potentiel dépend, en entier, de cette célèbre proposition de Lagrange : *Pour que le système soit en équilibre stable dans un état donné, il faut et il suffit que cet état corresponde à une valeur minimum du potentiel total, tant externe qu'interne.* L'établissement, par une voie entièrement rigoureuse et générale, de cette belle proposition est un des problèmes les plus importants et les plus souvent abordés de la Dynamique.

La solution complète de ce problème implique la réponse à ces deux questions :

1° *Le critérium énoncé par Lagrange SUFFIT-IL à assurer la stabilité de l'équilibre du système?*

2° *Est-il NÉCESSAIRE que le potentiel total soit un minimum pour que l'équilibre soit stable?*

Les démonstrations<sup>(1)</sup> par lesquelles Lagrange avait cru pouvoir répondre affirmativement à ces questions laissaient à désirer. Toutefois, celle par laquelle le grand géomètre pensait établir que le minimum du potentiel suffit à assurer la stabilité de l'équilibre pouvait, sans

<sup>(1)</sup> LAGRANGE, *Mécanique analytique* (2<sup>e</sup> édition), Première partie, section III, § V, n° 25.



grand effort, être rendue irréprochable. Lejeune-Dirichlet<sup>(1)</sup> lui donna une forme parfaitement rigoureuse.

Il est beaucoup plus malaisé d'appuyer de raisons convaincantes la réponse affirmative donnée par Lagrange à la seconde question. De nos jours seulement on a pu démontrer que, dans certains cas, le système se trouvait sûrement en équilibre instable dans une position où le potentiel n'a pas une valeur minimum.

L'élégante démonstration de M. Kneser<sup>(2)</sup> se borne à l'étude d'un système défini par deux variables ; de plus, elle suppose que la variation seconde du potentiel, au voisinage de la position d'équilibre, est négative, quelles que soient les variations imposées aux deux variables.

La démonstration de M. Liapounoff est beaucoup plus générale ; non seulement le système étudié peut dépendre d'un nombre quelconque de variables, pourvu seulement que ce nombre soit limité, mais encore la variation seconde du potentiel n'est pas astreinte à demeurer négative, au voisinage de la position d'équilibre dont on dispute, quelles que soient les variations imposées aux variables ; elle peut fort bien être nulle ou positive pour certaines variations ; pourvu que certaines autres variations la rendent positive, on peut affirmer que l'équilibre du système est instable.

Fondée sur un lemme que contenait un mémoire<sup>(3)</sup> publié en langue russe dès 1888, la démonstration de M. Liapounoff fut développée en 1892, dans un ouvrage<sup>(4)</sup> également écrit en russe ; elle ne fut généralement connue que par la rédaction française<sup>(5)</sup> donnée en 1897.

Entre temps, M. Hadamard<sup>(6)</sup>, sans connaître le livre publié en

(1) LEJEUNE-DIRICHLET, *Bedingungen der Stabilität des Gleichgewichts* (Crelle's Journal, Bd. XXXII, p. 85 ; 1846). — *Sur la stabilité de l'équilibre* (Journal de Liouville, vol. XII, p. 474 ; 1847).

(2) KNESER, *Studien über Bewegungsvorgänge in der Umgebung instabiler Gleichgewichtslagen* (Journal für reine und angewandte Mathematik, Bd. CXV, p. 300).

(3) LIAPOUNOFF, *Sur les mouvements permanents d'un corps solide dans un liquide* (en russe) (Communications de la Société Mathématique de Kharkow, 2<sup>e</sup> série, t. I ; 1888).

(4) LIAPOUNOFF, *Le problème général de la stabilité du mouvement* (en russe). Kharkow, 1892.

(5) LIAPOUNOFF, *Sur l'instabilité de l'équilibre dans certains cas où la fonction des forces n'est pas un maximum* (Journal de mathématiques pures et appliquées, 5<sup>e</sup> série, t. III, p. 81 ; 1897).

(6) HADAMARD, *Une propriété des mouvements sur une surface* (Comptes rendus, t. CXXII, p. 983 ; 1896). *Sur certaines propriétés des trajectoires en Dynamique* (Journal de mathématiques pures et appliquées, 5<sup>e</sup> série, t. III, p. 331 ; 1897).

langue russe par M. Liapounoff, retrouva une démonstration analogue, mais non identique.

Toutes les recherches que nous venons de mentionner sont subordonnées à une même hypothèse; en toutes, les équations adoptées comme lois du mouvement du système sont celles que l'on tire du principe de d'Alembert; il n'y est fait aucune allusion à ces *actions de viscosité* dont l'intervention apparaît de plus en plus nécessaire à qui veut obtenir au moins un accord approché entre les enseignements de la Mécanique et les mouvements naturels.

Il n'est guère besoin de modifier la démonstration de Lejeune-Dirichlet pour tenir compte des actions de viscosité<sup>(1)</sup> et prouver qu'un système soumis à de telles actions demeure assurément en équilibre stable dans un état où le potentiel total a une valeur minimum; on peut même remarquer que la démonstration de Lejeune-Dirichlet, valable pour un système exempt de viscosité, l'est, *a fortiori*, pour un système visqueux; la viscosité, résistance passive dont le travail, au cours d'une modification réelle, est toujours négatif, ne peut qu'accroître la stabilité du système.

Grâce à ce caractère de la viscosité, les conditions qui suffisent à assurer la stabilité d'un système non visqueux suffisent à plus forte raison à assurer l'équilibre stable du même système lorsqu'il est affecté de viscosité. Mais, en revanche, il semble qu'un état d'équilibre qui serait instable si le système n'était pas si visqueux, puisse être rendu stable si l'on fait intervenir des actions de viscosité suffisamment puissantes. On ne saurait donc, à moins qu'on ne le prouve, affirmer que la proposition démontrée par M. Liapounoff et par M. Hadamard pour les systèmes non visqueux demeure vraie lorsqu'on tient compte des actions de viscosité.

L'extension de cette proposition aux systèmes affectés de viscosité est l'un des principaux objets du présent écrit. Cette extension n'a pu être justifiée dans tous les cas; mais les cas où nous l'avons trouvée légitime sont assez étendus pour que l'on puisse attribuer une grande probabilité à la proposition suivante: Le critérium de Lagrange continue à marquer les conditions hors lesquelles l'équilibre d'un système est instable, même si ce système est affecté de viscosité.

(<sup>1</sup>) *Commentaire aux principes de la Thermodynamique*, 3<sup>e</sup> partie, ch. IV (*Journal de mathématiques pures et appliquées*, 4<sup>e</sup> série, t. X, p. 203; 1894).

## II

Considérons un système défini par des variables en nombre  $n$ ,  $x_1, x_2, \dots, x_n$ . Nous pouvons toujours supposer que l'état d'équilibre que nous nous proposons d'étudier correspond aux valeurs

$$(1) \quad x_1 = 0, \quad x_2 = 0, \quad \dots, \quad x_n = 0.$$

Nous pouvons également disposer de la constante arbitraire dont dépend le potentiel de telle sorte que les valeurs (1) des variables annulent ce potentiel.

D'ailleurs, les dérivées partielles de ce potentiel devant s'annuler en l'état d'équilibre, les valeurs infiniment petites de  $x_1, x_2, \dots, x_n$  feront, de cette fonction, un infiniment petit au moins du second ordre. Nous supposerons qu'en général cet infiniment petit soit effectivement du second ordre; en d'autres termes, nous supposerons que le potentiel  $\Omega$  puisse s'écrire

$$(2) \quad \Omega = \Phi(x_1, x_2, \dots, x_n) + \Phi'(x_1, x_2, \dots, x_n),$$

$\Phi$  étant une forme quadratique, non identiquement nulle, de  $x_1, x_2, \dots, x_n$  et  $\Phi'$  étant un infiniment petit au moins du troisième ordre, lorsque  $x_1, x_2, \dots, x_n$  sont infiniment petits.

La force vive  $\Theta$  est une forme quadratique de  $x'_1, x'_2, \dots, x'_n$ , les coefficients de cette forme étant des fonctions de  $x_1, x_2, \dots, x_n$ . Nous pourrions écrire

$$(3) \quad \Theta = \Psi(x'_1, x'_2, \dots, x'_n) + \Psi',$$

$\Psi$  étant une forme quadratique, à coefficients constants, de  $x'_1, x'_2, \dots, x'_n$  et  $\Psi'$  une fonction de ces variables et de  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , qui s'annule quels que soient  $x'_1, x'_2, \dots, x'_n$  lorsque les équations (1) sont vérifiées. Cette fonction  $\Psi'$  est infiniment petite au moins du troisième ordre lorsque toutes les qualités  $x_1, x_2, \dots, x_n, x'_1, x'_2, \dots, x'_n$  sont infiniment petites.

Nous pouvons toujours déterminer  $n$  quantités  $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$ ,

fonctions linéaires, homogènes et à coefficients constants de  $x_1, x_2, \dots, x_n$  telles que l'on puisse écrire

$$(4) \quad \Phi = S_1 \xi_1^2 + S_2 \xi_2^2 + \dots + S_n \xi_n^2,$$

$$(5) \quad \Psi = \xi_1'^2 + \xi_2'^2 + \dots + \xi_n'^2,$$

$S_1, S_2, \dots, S_n$  étant  $n$  constantes.

Les coefficients  $S_1, S_2, \dots, S_n$  ont des signes quelconques.

Aux variables  $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$  correspondent  $n$  équations du mouvement. L'équation qui correspond à la variable  $\xi_p$  a la forme

$$(6) \quad \frac{\partial \Omega}{\partial \xi_p} - \frac{\partial \Theta}{\partial \xi_p} + \frac{d}{dt} \frac{\partial \Theta}{\partial \xi_p'} - V_p = 0,$$

$V_p$  étant l'action de viscosité relative à la variable  $\xi_p$ .

Avec Stokes et Lord Rayleigh, nous admettrons qu'il existe une *fonction dissipative*,  $\mathcal{F}$ , qui dépend de  $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$  et aussi de  $\xi_1', \xi_2', \dots, \xi_n'$ ; qui s'annule lorsque ces dernières variables sont toutes nulles; enfin qui n'est jamais négative. Ces caractères imposés à la fonction  $\mathcal{F}$  nous permettent d'écrire

$$(7) \quad \mathcal{F} = A_{11} \xi_1'^2 + A_{22} \xi_2'^2 + \dots + A_{nn} \xi_n'^2 + 2 \sum_{ij} A_{ij} \xi_i' \xi_j' + \mathcal{F}',$$

les coefficients  $A$  étant des constantes et  $\mathcal{F}'$  étant une fonction de  $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n, \xi_1', \xi_2', \dots, \xi_n'$  qui est infiniment petite au moins du troisième ordre lorsque toutes ces variables sont infiniment petites. La forme quadratique qui précède  $\mathcal{F}'$  peut être positive ou nulle; elle n'est jamais négative.

A cette fonction dissipative, l'action de viscosité  $V_p$  est liée par la formule

$$(8) \quad V_p = - \frac{\partial \mathcal{F}}{\partial \xi_p'}.$$

En vertu des égalités (2), (3), (4), (5), (7), (8), l'équation (6) peut s'écrire

$$(9) \quad S_p \xi_p + A_{p1} \xi_1' + A_{p2} \xi_2' + \dots + A_{pn} \xi_n' + \xi_p'' + \frac{1}{2} \left( \frac{\partial \Phi'}{\partial \xi_p} + \frac{\partial \mathcal{F}'}{\partial \xi_p} - \frac{\partial \Psi'}{\partial \xi_p} + \frac{d}{dt} \frac{\partial \Psi'}{\partial \xi_p'} \right) = 0$$

ou bien encore

$$(9^{bis}) \quad S_p \xi_p + A_{p1} \xi_1' + A_{p2} \xi_2' + \dots + A_{pn} \xi_n' + \xi_p'' + \varepsilon_p = 0.$$

Nous admettrons que  $\Phi'$ ,  $\Psi'$ ,  $\mathcal{F}'$  sont tels que  $\varepsilon_p$  soit infiniment petit au moins du second ordre lorsque les quantités

$$\begin{array}{c} \xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n, \\ \xi'_1, \xi'_2, \dots, \xi'_n, \\ \xi''_1, \xi''_2, \dots, \xi''_n, \end{array}$$

sont infiniment petites.

Mais la force vive  $\Theta$  est une forme quadratique en  $\xi'_1, \xi'_2, \dots, \xi'_n$ , les coefficients de cette forme étant des fonctions de  $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$  :

$$(10) \quad \Theta = B_{11}\xi_1'^2 + B_{22}\xi_2'^2 + \dots + B_{nn}\xi_n'^2 + \sum B_{ij}\xi_i'\xi_j'.$$

Cette forme est toujours définie positive, en sorte que l'on a

$$(11) \quad \begin{vmatrix} B_{11} & B_{12} & \dots & B_{1n} \\ B_{21} & B_{22} & \dots & B_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ B_{n1} & B_{n2} & \dots & B_{nn} \end{vmatrix} > 0.$$

Visiblement, les seuls termes qui, dans l'équation (6) ou (9), dépendent des accélérations  $\xi_1'', \xi_2'', \dots, \xi_n''$ , sont

$$B_{p1}\xi_1'' + B_{p2}\xi_2'' + \dots + B_{pn}\xi_n''.$$

Les équations (9) sont donc  $n$  équations linéaires en  $\xi_1'', \xi_2'', \dots, \xi_n''$ ; en vertu de l'inégalité (11), elles déterminent sans ambiguïté ces  $n$  quantités.

L'expression de chacune de ces quantités a pour dénominateur le déterminant (11), qui, selon les égalités (3), (5) et (10), tend vers 1 lorsque  $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$  tendent vers 0; le numérateur, au contraire, est infiniment petit en même temps que

$$(12) \quad \xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n, \quad \xi'_1, \xi'_2, \dots, \xi'_n.$$

Par conséquent, les quantités  $\xi_1'', \xi_2'', \dots, \xi_n''$  sont infiniment petites en même temps que les quantités (12).

Dès lors,  $\varepsilon_p$  est, dans l'équation ( $9^{bis}$ ), infiniment petit au moins du second ordre lorsque les  $2n$  quantités (12) sont infiniment petites.

Nous admettons également que  $\frac{d\varepsilon_p}{dt}$  est infiniment petit au moins du second ordre lorsque les quantités

$$\begin{array}{cccc} \xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n, & \xi'_1, \xi'_2, \dots, \xi'_n, \\ \xi''_1, \xi''_2, \dots, \xi''_n, & \xi'''_1, \xi'''_2, \dots, \xi'''_n \end{array}$$

sont infiniment petites; mais, comme dans le cas précédent, on peut démontrer, en faisant usage de l'égalité (10) et de l'inégalité (11), que les quantités inscrites sur la seconde ligne sont infiniment petites en même temps que les quantités inscrites sur la première ligne; il suffit donc que ces dernières, qui sont les grandeurs (12), soient infiniment petites pour que  $\frac{d\varepsilon_p}{dt}$  soit infiniment petit au moins du second ordre.

Les hypothèses faites sur  $\varepsilon_p$  et sur  $\frac{d\varepsilon_p}{dt}$ , sont, comme on le voit sans peine, des conséquences de l'hypothèse suivante :

*Lorsque les 2n grandeurs*

$$\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n, \quad \xi'_1, \xi'_2, \dots, \xi'_n$$

*sont infiniment petites, toutes les dérivées partielles du premier ordre de*

$$\Phi', \quad \mathcal{F}', \quad \Psi'$$

*sont infiniment petites au moins du second ordre; toutes les dérivées partielles du second ordre de ces mêmes grandeurs sont infiniment petites au moins du premier ordre.*

Si un système était tellement constitué que cette hypothèse fût fausse, notre démonstration, non plus que celles de M. Liapounoff ou de M. Hadamard, ne pourrait lui être appliquée.

Ces préliminaires posés, nous allons démontrer la proposition suivante<sup>(1)</sup> :

*Si tous les coefficients  $S_1, S_2, \dots, S_n$  sont négatifs, l'équilibre du système est sûrement instable.*

<sup>(1)</sup> P. DUHEM, *Sur les conditions nécessaires pour la stabilité de l'équilibre d'un système visqueux* (Comptes rendus, t. CXXXV, p. 939, séance du 1<sup>er</sup> décembre 1902).

A l'instant  $t = 0$ , donnons au système un écart initial et une vitesse initiale. Soient

$$(13) \quad \eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n, \quad \eta'_1, \eta'_2, \dots, \eta'_n$$

les valeurs prises, à cet instant, par les grandeurs

$$(12) \quad \xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n, \quad \xi'_1, \xi'_2, \dots, \xi'_n.$$

Supposons que l'équilibre de notre système soit stable. D'après la définition même de ce mot, nous pourrions limiter supérieurement les valeurs absolues des grandeurs (13) de telle sorte que les valeurs absolues des grandeurs (12) demeurent, quel que soit  $t$ , inférieures à des limites positives données d'avance; partant, de telle sorte que la grandeur

$$(14) \quad U = \sum_{p=1}^{p=n} \left( \xi_p'^2 - S_p \xi_p^2 \right)$$

qui, pour notre système, ne peut jamais être négative, demeure, quel que soit  $t$ , inférieure à une quantité positive  $w$  donnée d'avance.

Or, nous avons

$$\frac{dU}{dt} = 2 \sum_{p=1}^{p=n} \left( \xi_p' - S_p \xi_p \right) \xi_p'$$

ou bien, en vertu des égalités (9<sup>bis</sup>),

$$(15) \quad \begin{aligned} \frac{dU}{dt} = & -2 \sum_{p=1}^{p=n} \left( 2S_p \xi_p + A_{p1} \xi'_1 + A_{p2} \xi'_2 + \dots + A_{pn} \xi'_n \right) \xi_p' \\ & - 2 \sum_{p=1}^{p=n} \varepsilon_p \xi_p'. \end{aligned}$$

Nous avons ensuite

$$\begin{aligned} \frac{d^2 U}{dt^2} = & -4 \sum_{p=1}^{p=n} \left[ S_p \xi_p'^2 + (S_p \xi_p + A_{p1} \xi'_1 + A_{p2} \xi'_2 + \dots + A_{pn} \xi'_n) \xi_p' \right] \\ & - 2 \sum_{p=1}^{p=n} \left( \varepsilon_p \xi_p' + \frac{d\varepsilon_p}{dt} \xi_p' \right) \end{aligned}$$

ou bien, en vertu des égalités (9),

$$(16) \quad \frac{d^2 U}{dt^2} = -4 \sum_{p=1}^{p-n} \left[ S_p \xi_p'^2 - (S_p \xi_p + A_{p1} \xi_1' + A_{p2} \xi_2' + \dots + A_{pn} \xi_n')^2 \right] \\ + \sum_{p=1}^{p-n} \left[ 6 \varepsilon_p \left( S_p \xi_p + A_{p1} \xi_1' + A_{p2} \xi_2' + \dots + A_{pn} \xi_n' \right) - 2 \frac{d \varepsilon_p}{dt} \xi_p' \right] \\ + 2 \sum_{p=1}^{p-n} \varepsilon_p^2.$$

Au second membre de l'égalité (15), le premier terme est, en général, infiniment petit du second ordre, lorsque les grandeurs (12) sont infiniment petites; le second terme est infiniment petit au moins du troisième ordre. On peut donc imposer aux valeurs absolues des grandeurs (12) des limites supérieures telles que  $\frac{dU}{dt}$  ait sûrement le signe de son premier terme, toutes les fois que celui-ci ne sera pas nul.

Au second membre de l'égalité (16), dans les mêmes conditions, le premier terme est infiniment petit du second ordre; il est d'ailleurs sûrement positif toutes les fois que l'on n'a pas

$$(17) \quad \begin{cases} \xi_1 = 0, \xi_2 = 0, \dots, \xi_n = 0, \\ \xi_1' = 0, \xi_2' = 0, \dots, \xi_n' = 0, \end{cases}$$

c'est-à-dire toutes les fois que le système ne se trouve pas dans l'état d'équilibre initial, sans vitesse initiale.

Le second terme est infiniment petit au moins du troisième ordre; le troisième terme est infiniment petit au moins du quatrième ordre. On peut donc toujours imposer aux valeurs absolues des grandeurs (12) des limites supérieures telles que le rapport des deux derniers termes de  $\frac{d^2 U}{dt^2}$  au premier soit inférieur en valeur absolue à telle grandeur positive que l'on voudra, donnée d'avance. Dans ces conditions, si cette valeur a été choisie inférieure à 1,  $\frac{d^2 U}{dt^2}$  sera sûrement positif, à moins que les égalités (17) ne soient toutes vérifiées, cas auquel  $\frac{d^2 U}{dt^2}$  s'annule. En tout cas,  $\frac{d^2 U}{dt^2}$  ne sera jamais négatif.

Si donc nous supposons stable l'équilibre de notre système, nous



pourrions imposer aux valeurs absolues des grandeurs (13) des limites supérieures telles :

- 1° Que  $U$  ne surpasse  $w$  pour aucune valeur de  $t$ ;
- 2° Que  $\frac{dU}{dt}$  ait le signe de son premier terme;
- 3° Que  $\frac{d^2U}{dt^2}$  ne soit négatif pour aucune valeur de  $t$  et ne s'annule que si les égalités (17) sont toutes vérifiées.

Mais ayant choisi les grandeurs  $\tau_{11}, \tau_{12}, \dots, \tau_{1n}$  de telle sorte que leurs valeurs absolues soient inférieures aux limites requises, nous pourrions leur associer des grandeurs  $\tau'_{11}, \tau'_{12}, \dots, \tau'_{1n}$  assez voisines de zéro :

- 1° Pour que les trois conditions précédentes soient vérifiées;
- 2° Pour que, quel que soit le signe de ces quantités  $\tau'_{11}, \tau'_{12}, \dots, \tau'_{1n}$ , chacune des quantités

$$2S_p \tau_{1p} + A_{p1} \tau'_{11} + A_{p2} \tau'_{12} + \dots + A_{pn} \tau'_{1n}$$

soit de même signe que son premier terme  $2S_p \tau_{1p}$  ou, ce qui revient au même, de signe contraire à  $\tau_{1p}$ .

Si, en outre, nous prenons chacune de ces quantités  $\tau'_{1p}$  de même signe que la quantité  $\tau_{1p}$  correspondante, nous serons assuré que la valeur initiale  $W_o$  du premier terme de  $\frac{dU}{dt}$ , en l'égalité (15),

$$W_o = -2 \sum_{p=1}^{p=n} \left( 2S_p \tau_{1p} + A_{p1} \tau'_{11} + A_{p2} \tau'_{12} + \dots + A_{pn} \tau'_{1n} \right) \tau'_{1p}$$

sera positive. Il en sera de même de  $\left( \frac{dU}{dt} \right)_o$ . Comme, d'ailleurs,  $\frac{d^2U}{dt^2}$  ne peut jamais devenir négatif, la valeur de  $\frac{dU}{dt}$  demeurera, quel que soit  $t$ , supérieure à cette limite fixe et positive  $\left( \frac{dU}{dt} \right)_o$ .  $U$  croîtra donc au delà de toute limite avec  $t$ .

Or, par ailleurs, nous sommes certains que  $U$  ne dépassera pas  $w$ .

L'hypothèse que le système était en équilibre stable dans l'état initial nous a acculé à une contradiction; cette hypothèse doit être rejetée et le théorème énoncé est démontré.

On remarquera que cette démonstration ne fait aucun usage de la condition imposée au signe de  $\mathcal{F}$ . Elle demeure également valable que

les actions de viscosité tendent à gêner le mouvement, comme il arrive toujours dans la Nature, ou qu'elles tendent à le favoriser. On remarquera aussi qu'elle ne suppose pas les actions de viscosité fonctions simplement linéaires des vitesses; elle n'admet, à l'égard de ces actions, qu'une seule hypothèse, l'existence d'une fonction dissipative.

### III

Les résultats que nous venons d'obtenir pour un système affecté de viscosité sont moins complets que ceux qui ont été obtenus par M. Liapounoff et par M. Hadamard, en étudiant les systèmes dénués de viscosité; une particularité, en effet, a favorisé ces géomètres, particularité qui ne se rencontrait plus dans nos recherches. Deux formes quadratiques de  $n$  variables peuvent toujours, par une même substitution linéaire, être transformées en deux sommes de  $n$  carrés; cette proposition ne s'étend pas, en général, à trois formes quadratiques de  $n$  variables.

Mais, en dehors du cas traité par M. Liapounoff et par M. Hadamard, il est un autre cas, laissé de côté dans ce qui précède, où nous aurons à considérer seulement deux formes quadratiques. C'est celui où toutes les variables qui définissent le système, sont des variables *sans inertie* (1); la définition de chacune de ces variables fait entièrement abstraction des positions que les diverses parties du système occupent dans l'espace. Telles sont les variables que l'on considère dans presque tous les problèmes de Mécanique chimique.

Dans ces conditions, la forme  $\Psi$  est identiquement nulle. Dès lors, nous pouvons toujours aux variables primitives  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , substituer  $n$  nouvelles variables,  $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$ , fonctions linéaires des premières, telles que nous puissions écrire

$$\begin{aligned} (4) \quad \Phi &= S_1 \xi_1^2 + S_2 \xi_2^2 + \dots + S_n \xi_n^2, \\ (18) \quad \mathcal{F} &= F_1 \xi_1^2 + F_2 \xi_2^2 + \dots + F_n \xi_n^2 + \mathcal{F}'. \end{aligned}$$

Ici nous supposerons, conformément à la loi de la Nature,

(1) P. DUHEM, *Sur la stabilité de l'équilibre et les variables sans inertie* (Comptes rendus, t. CXXXV, p. 1088; 15 décembre 1902).

que  $(\mathfrak{f}-\mathfrak{f}')$  est une forme définie positive en  $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$  ou, en d'autres termes, que l'on a les inégalités

$$(19) \quad F_1 > 0, \quad F_2 > 0, \quad \dots, \quad F_n > 0.$$

Dans ces conditions, nous allons démontrer la proposition suivante : *Si un ou plusieurs des coefficients  $S_1, S_2, \dots, S_n$  sont négatifs, l'état initial du système est assurément un état d'équilibre instable.*

Formons l'équation du mouvement qui correspond à la variable  $\xi_m$ . Cette équation sera non plus l'équation (9<sup>bia</sup>), mais l'équation

$$(20) \quad S_m \ddot{\xi}_m + F_m \dot{\xi}_m' + \epsilon_m = 0,$$

$\epsilon_m$  et  $\frac{d\epsilon_m}{dt}$  ayant les mêmes caractères que dans le cas précédent.

Considérons l'expression

$$(21) \quad V_m = S_m \xi_m^2.$$

Cette égalité nous donnera

$$\frac{dV_m}{dt} = 2S_m \xi_m \dot{\xi}_m'$$

ou bien, en vertu de l'égalité (20),

$$(22) \quad \frac{dV_m}{dt} = -2 \frac{S_m^2}{F_m} \xi_m^2 - \frac{2S_m}{F_m} \epsilon_m \xi_m.$$

De cette égalité (22), nous tirons, par une nouvelle différentiation,

$$\frac{d^2 V_m}{dt^2} = -4 \frac{S_m^2}{F_m} \xi_m \dot{\xi}_m' - \frac{2S_m}{F_m} \left( \frac{d\epsilon_m}{dt} \xi_m + \epsilon_m \frac{d\xi_m}{dt} \right)$$

ou bien, par un nouvel emploi de l'égalité (20),

$$(23) \quad \frac{d^2 V_m}{dt^2} = 4 \frac{S_m^3}{F_m^2} \xi_m^2 + \frac{2S_m}{F_m} \left( \frac{3S_m}{F_m} \epsilon_m - \frac{d\epsilon_m}{dt} \right) \xi_m.$$

Imaginons que, parmi les coefficients  $S_1, S_2, \dots, S_n$ , il y en ait au

moins un négatif; soit  $S_p$  l'un quelconque de ces coefficients négatifs; soit  $S_q$  l'un quelconque des coefficients positifs. Posons

$$U = - \sum_p V_p + \sum_q V_q$$

ou bien, selon l'égalité (21),

$$(24) \quad U = - \sum_p S_p \xi_p^2 + \sum_q S_q \xi_q^2.$$

L'égalité (22) donnera

$$(25) \quad \begin{aligned} \frac{dU}{dt} &= 2 \sum_p \frac{S_p^2}{F_p} \xi_p^2 - 2 \sum_q \frac{S_q^2}{F_q} \xi_q^2 \\ &\quad + 2 \sum_p \frac{S_p}{F_p} \epsilon_p - 2 \sum_q \frac{S_q}{F_q} \epsilon_q. \end{aligned}$$

L'égalité (23) donnera de même

$$(26) \quad \begin{aligned} \frac{d^2 U}{dt^2} &= -4 \sum_p \frac{S_p^3}{F_p^2} \xi_p^2 + 4 \sum_q \frac{S_q^3}{F_q^2} \xi_q^2 \\ &\quad - 2 \sum_p \frac{S_p}{F_p} \left( \frac{3S_p}{F_p} \epsilon_p - \frac{d\epsilon_p}{dt} \right) \xi_p \\ &\quad + 2 \sum_q \frac{S_q}{F_q} \left( \frac{3S_q}{F_q} \epsilon_q - \frac{d\epsilon_q}{dt} \right) \xi_q. \end{aligned}$$

Aux seconds membres des équations (25) et (26), les termes de la première ligne forment un ensemble infiniment petit du second ordre lorsque  $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$  sont infiniment petits du premier ordre, tandis que les autres termes sont infiniment petits au moins du troisième ordre.

En outre, l'ensemble des termes infiniment petits du second ordre, dans l'expression (26) de  $\frac{d^2 U}{dt^2}$ , ne peut s'annuler que si l'on a les inégalités

$$(27) \quad \xi_1 = 0, \xi_2 = 0, \dots, \xi_n = 0.$$

Hors ce cas, cet ensemble est sûrement positif.

On peut donc imposer aux valeurs absolues des grandeurs  $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$  des limites supérieures telles que  $\frac{d^2 U}{dt^2}$  soit assurément positif toutes les fois que les égalités (27) ne sont pas vérifiées; d'ailleurs, lorsque ces égalités sont vérifiées,  $\frac{d^2 U}{dt^2}$  s'annule.

Si donc l'équilibre initial du système était stable, on pourrait sûrement imposer aux valeurs absolues des quantités  $\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n$ , valeurs initiales de  $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$ , des limites supérieures telles :

1° Que la valeur essentiellement positive de  $U$  ne surpassât pas une grandeur positive arbitrairement donnée d'avance  $w$ ;

2° Que la grandeur  $\frac{d^2 U}{dt^2}$ , généralement positive, ne fût jamais négative.

Mais d'autre part, comme il existe au moins un coefficient  $S_p$ , il est clair que l'on peut, en vertu des inégalités (19), choisir ces quantités  $\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n$  assez voisines de zéro pour que le signe initial de  $\frac{dU}{dt}$  soit celui du terme infiniment petit du second ordre et que ce dernier soit positif.

$\left(\frac{dU}{dt}\right)_0$  aurait donc une certaine valeur positive; comme  $\frac{d^2 U}{dt^2}$ , positif pour  $t = 0$ , ne peut jamais devenir négatif,  $\frac{dU}{dt}$  serait, quel que soit  $t$ , supérieur à la valeur fixe et positive  $\left(\frac{dU}{dt}\right)_0$ . Donc  $U$  croîtrait au delà de toute limite avec  $t$ .

Mais, d'autre part,  $U$  ne saurait surpasser  $w$ .

Cette contradiction établit par réduction à l'absurde le Théorème énoncé.

#### IV

Dans tout ce qui précède, nous avons raisonné en entendant le mot *équilibre stable* dans le sens où l'a entendu Lejeune-Dirichlet, où l'ont entendu après lui la plupart des mécaniciens qui ont traité de cette notion. *Un état d'équilibre est dit stable, lorsqu'on peut imposer aux valeurs absolues des quantités*

$$(13) \quad \eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n, \quad \eta'_1, \eta'_2, \dots, \eta'_n$$

*des limites supérieures telles que les grandeurs*

$$(12) \quad \xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n, \quad \xi'_1, \xi'_2, \dots, \xi'_n$$

*ne dépassent jamais certaines limites positives données d'avance, quelque petites que soient ces limites.*

Hors des traités de Mécanique, on admet souvent, plus ou moins explicitement, une autre définition de la stabilité; cette définition pourrait être formulée comme suit (1) : « Un état d'équilibre stable est un état d'équilibre dans lequel aucune transformation spontanée n'est possible, et auquel le système revient par une transformation spontanée, quand il n'en a pas été trop écarté. »

L'impossibilité de toute transformation spontanée dans l'état d'équilibre considéré n'est que la définition même du mot équilibre; la stabilité est donc caractérisée par le retour du système à l'état initial lorsqu'il n'en a pas été écarté outre mesure.

Un tel phénomène est-il compatible avec les équations de la Mécanique? S'il est compatible avec ces équations, est-il une conséquence de la définition de la stabilité adoptée par Lejeune-Dirichlet? C'est ce que nous nous proposons d'examiner.

Tout d'abord, il est impossible, aussi bien pour un système affecté de viscosité que pour un système dénué de viscosité, que le système écarté de sa position d'équilibre y revienne au bout d'un temps fini; la démonstration de ce théorème est classique.

Si donc on veut donner un sens à la notion de stabilité formulée par Robin, il la faut entendre de la manière suivante : *En un système pour lequel les valeurs absolues des quantités*

$$(13) \quad \eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n, \quad \eta'_1, \eta'_2, \dots, \eta'_n$$

*ne surpassent pas certaines limites* FIXÉES PAR LA NATURE DU SYSTÈME, *les grandeurs*

$$(12) \quad \xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n, \quad \xi'_1, \xi'_2, \dots, \xi'_n$$

*tendent toutes vers 0 lorsque t croît au delà de toute limite.*

(1) GUSTAVE ROBIN, *Œuvres scientifiques*, publiées par L. RAFFY; *Thermodynamique générale*, p. 79. Paris, 1901.

Pour un système dénué de viscosité, cette proposition ne peut être exacte; en effet, en même temps que les grandeurs (12), la somme  $(\Omega + \Theta)$  tendrait vers 0 lorsque  $t$  croît au delà de toute limite; or cela ne peut être, car la somme  $(\Omega + \Theta)$  garde constamment sa valeur initiale, qui est positive.

Bornons-nous donc à l'étude des systèmes visqueux.

On pourrait être tenté de tirer de la théorie classique des petits mouvements la démonstration de la proposition précédente; en effet, en vertu de la viscosité, chacune des  $n$  fonctions qui intègrent ces équations est une somme d'un nombre limité de termes; chacun de ces termes (1) est le produit d'une constante, ou d'une constante et d'un sinus, par une exponentielle  $e^{-\lambda t}$ , où  $\lambda$  est une quantité réelle et positive. Chacune de ces fonctions tend donc vers 0, ainsi que sa dérivée par rapport à  $t$ , lorsque  $t$  croît au delà de toute limite. On pourrait être tenté d'en conclure qu'il en est de même de  $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n, \xi'_1, \xi'_2, \dots, \xi'_n$ . Un coup d'œil rapide sur les principes mêmes de la théorie des petits mouvements va nous prouver qu'une telle conclusion ne serait rien moins qu'établie.

Considérons un système en équilibre stable. Nous pouvons toujours en mettre le potentiel sous la forme [égalités (2) et (4)]

$$(28) \quad \Omega = S_1 \xi_1^2 + S_2 \xi_2^2 + \dots + S_n \xi_n^2 + \Phi',$$

$\Phi'$  étant un infiniment petit au moins du troisième ordre lorsque  $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$  sont infiniment petits. Nous savons qu'aucun des coefficients  $S_1, S_2, \dots, S_n$  ne peut être négatif; nous supposons en outre qu'aucun d'eux ne soit nul. Nous pourrions alors écrire

$$(29) \quad \Omega = (S_1 \xi_1^2 + S_2 \xi_2^2 + \dots + S_n \xi_n^2)(1 + m)$$

et imposer aux valeurs absolues de  $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$  des limites supérieures telles que l'on ait

$$(30) \quad |m| < \mu,$$

quelle que soit la quantité  $\mu$ , positive et inférieure à 1.

Soient

$$Z_1, Z_2, \dots, Z_n, \quad Z'_1, Z'_2, \dots, Z'_n$$

(1) Cf. ROUTH, *Dynamics of a System of rigid Bodies*, advanced part, artt. 314 à 320





les fonctions  $X_1(t)$ ,  $X_2(t)$ , ...,  $X_n(t)$  demeurant finies pour toute valeur de  $t$  et même lorsque  $t$  croît au delà de toute limite; les fonctions  $X'_1(t, \epsilon)$ ,  $X'_2(t, \epsilon)$ , ...,  $X'_n(t, \epsilon)$  demeurant finies pour toute valeur de  $t$ , et aussi pour toute valeur de  $\epsilon$  comprise entre  $-\eta$  et  $+\eta$ .

*Ce sont les fonctions  $X_1(t)$ ,  $X_2(t)$ , ...,  $X_n(t)$  que détermine la théorie des petits mouvements. De ce que, lorsque le système est visqueux, ces fonctions tendent toutes vers 0 si l'on fait croître  $t$  au delà de toute limite, on n'en saurait conclure qu'il en soit de même de  $\xi_1$ ,  $\xi_2$ , ...,  $\xi_n$ .*

## VI

Supposons que les actions de viscosité qui sollicitent un système soient fonctions linéaires des vitesses  $x'_1$ ,  $x'_2$ , ...,  $x'_n$  avec lesquelles varient les variables indépendantes  $x_1$ ,  $x_2$ , ...,  $x_n$  qui définissent le système; le travail réellement accompli, pendant le temps  $dt$ , par ces actions de viscosité, est donné par la formule

$$d\mathcal{C}_v = -2f dt.$$

Supposons que l'état

$$x_1 = 0, \quad x_2 = 0, \quad \dots, \quad x_n = 0,$$

soit un état d'équilibre où le potentiel  $\Omega$  prend une valeur minimum en s'annulant; partant, un état d'équilibre stable.

Si nous désignons par

$$(33) \quad \gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n, \quad \gamma'_1, \gamma'_2, \dots, \gamma'_n$$

les valeurs initiales de

$$(34) \quad x_1, x_2, \dots, x_n, \quad x'_1, x'_2, \dots, x'_n,$$

nous pourrions imposer aux valeurs absolues de ces grandeurs (33) des limites supérieures telles que  $\Omega$  demeure sûrement positif ou nul pendant toute la durée du mouvement; ces limites dépendent uniquement de la nature du système.

Les valeurs initiales (33) font prendre à  $\Omega$  la valeur  $\Omega_0$  et à la force vive  $\Theta$  la valeur  $\Theta_0$ . Nous avons alors, quel que soit  $t$ ,

$$(35) \quad \Omega - \Omega_0 + \Theta - \Theta_0 + 2 \int_0^t f dt = 0.$$

Cette égalité, où  $\Omega$  et  $\Theta$  ne peuvent jamais prendre de valeurs négatives, nous apprend que l'intégrale  $\int_0^t \mathcal{F} dt$  ne peut jamais, quel que soit  $t$ , surpasser la limite supérieure  $\left(\frac{\Omega_0 + \Theta_0}{2}\right)$ . D'ailleurs,  $\mathcal{F}$  n'est jamais négatif; la fonction de  $t$ ,  $\int_0^t \mathcal{F} dt$ , a un sens unique de variation; lors donc que  $t$  croît au delà de toute limite, cette intégrale tend certainement vers une limite déterminée.

Choisissons, arbitrairement d'ailleurs, mais une fois pour toutes, une durée  $T$  que nous nommerons la *durée fondamentale*; selon le critérium de convergence d'une intégrale, énoncé par P. Du Bois-Reymond, l'intégrale  $\int_t^{t+T} \mathcal{F} dt$  tendra assurément vers 0 lorsqu'on fera croître  $t$  au delà de toute limite.

Parmi les variables  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , supposons que  $x_1, x_2, \dots, x_p$  soient celles qui sont affectées de viscosité;  $\mathcal{F}$  ne renferme pas les vitesses  $x'_{p+1}, \dots, x'_n$ , mais est une forme quadratique définie positive de  $x'_1, x'_2, \dots, x'_p$ . Les coefficients de cette forme sont des fonctions de  $x_1, x_2, \dots, x_n$ .

Choisissons  $p$  grandeurs positives  $X_1, X_2, \dots, X_p$  et convenons de dire que le système est animé de *vitesses notables* à l'instant  $t$  si, à cet instant, l'une au moins des conditions

$$(36) \quad x'_1 \geq X_1, \quad x'_2 \geq X_2, \quad \dots, \quad x'_p \geq X_p$$

est satisfaite.

Quelles que soient les valeurs attribuées à  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , parmi celles que ces grandeurs peuvent prendre, la fonction dissipative  $\mathcal{F}$  ne peut s'annuler que si l'on a

$$x'_1 = 0, \quad x'_2 = 0, \quad \dots, \quad x'_p = 0.$$

Lors donc que le système est animé de vitesses notables, cette fonction, qui n'est jamais négative, ne peut être ni nulle ni infiniment petite. L'ensemble des valeurs qu'elle peut prendre lorsqu'on suppose le système animé de vitesses notables admet une limite inférieure positive  $F$ .

Considérons le laps de temps compris entre  $t$  et  $t + T$ ; divisons-le en éléments  $dt$ . La somme des éléments pendant lesquels le système

a pris des vitesses notables a une valeur  $\tau$ , comprise entre 0 et T. Le rapport

$$(37) \quad \rho(t) = \frac{\tau}{T}$$

est ce que nous nommerons la *fréquence des vitesses notables* à l'instant  $t$ ; c'est une grandeur, comprise entre 0 et 1, qui peut dépendre du choix de la durée fondamentale T et des grandeurs  $X_1, X_2, \dots, X_p$ , par lesquelles on définit les vitesses notables.

Aux instants, compris entre  $t$  et  $t + T$ , où le système a pris des vitesses notables,  $\mathcal{F}$  a pris une valeur au moins égale à F; aux instants où le système n'a pris aucune vitesse notable,  $\mathcal{F}$  est demeuré au moins égal à 0. Nous pouvons donc écrire

$$\int_t^{t+T} \mathcal{F} dt \geq TF\rho(T).$$

Selon le critérium de P. Du Bois-Reymond, l'intégrale qui figure au premier membre de cette condition tend vers 0 lorsque  $t$  croît au delà de toute limite; il en est donc de même de  $\rho(t)$ . Dès lors, nous pouvons énoncer la proposition suivante :

*Lorsque le temps  $t$  croît au delà de toute limite, la fréquence des vitesses notables des variables affectées de viscosité tend vers zéro, et cela, quelle que soit la durée fondamentale et quelles que soient les limites inférieures imposées aux vitesses dites notables.*

Cette proposition, qui n'affirme rien touchant les vitesses des variables exemptes de viscosité, est bien loin d'affirmer que les vitesses des variables affectées de viscosité tendent toutes vers 0 lorsque  $t$  croît au delà de toute limite. La proposition énoncée au paragraphe précédent est donc fort loin d'être établie.

---

# APPLICATION DE L'HOMÉOTROPIE

A UN

## ESSAI D'ANALYSE DES ALCOOLS

Par M. E. GOSSART

PROFESSEUR DE PHYSIQUE EXPÉRIMENTALE A LA FACULTÉ DES SCIENCES  
DE BORDEAUX

---

Ce n'est pas sans hésitation que je publie maintenant cet essai d'analyse des alcools, dont je gardais les matériaux principaux en réserve, depuis bien des années, comme trop incomplets.

Je le juge encore, aujourd'hui, bien peu digne d'être présenté en hommage à la mémoire du savant collègue dont les géniales recherches ont tant contribué à défendre l'agriculture contre les parasites de la vigne. Peut-être pourtant la grande mémoire de Millardet vaudra-t-elle un abri favorable à ce modeste travail, surtout si je démontre que par ses origines et sa fin, par les mémoires dont il est la suite et par ceux qui le suivront, il a pour objectif de défendre aussi les producteurs d'eaux-de-vie naturelles contre d'autres ennemis, d'autres parasites, les falsificateurs.

Maintenant que les vignes des Charentes et de l'Armagnac reconstituées devraient pouvoir suffire à la production des alcools de consommation, ce problème économique et hygiénique se pose de plus en plus impérieusement : mettre chaque chose à sa place, réserver la table aux eaux-de-vie naturelles, offrir en compensation aux alcools industriels des moteurs et des foyers de chaleur de plus en plus nombreux à alimenter. Or, on est bien loin encore de cet idéal, puisque, en France actuellement, par habitant et par année la consommation de bouche est effrayante, 4<sup>l</sup>740, et la consommation industrielle dérisoire, 0<sup>l</sup>576. (Lindet, *Bulletin de l'Association des chimistes de sucrerie et de distillerie.*)

Sans doute, sous la pression des Sociétés d'agriculture, grâce aux dégrèvements de l'impôt sur les alcools dénaturés, grâce aux développements de l'automobilisme et à tous les efforts patriotiques des Congrès spéciaux, on peut espérer pour l'avenir un meilleur équilibre.

Mais le principal obstacle à cette répartition si désirable des richesses de notre sol, c'est assurément *l'impossibilité où l'on est actuellement de caractériser facilement l'origine d'un alcool*.

On peut donc comprendre et excuser l'entêtement d'un chercheur qui a cru un jour tenir les principes d'une bonne solution pour un problème si important, et qui voudrait montrer aujourd'hui pourquoi il ne désespère plus de l'atteindre.

Lorsqu'en décembre 1891 je soumis à la Société d'encouragement pour l'industrie nationale ma méthode pour l'analyse des liquides par roulement du semblable sur le semblable, en désignant le phénomène nouveau par le mot nouveau d'*homéotropie*, je ne reconnaisais encore les impuretés des alcools qu'à la dose de  $\frac{1}{10}$  environ, et cependant la simplicité et la généralité du procédé me valurent d'encourageantes exhortations à le perfectionner.

Je fis alors le rêve bien ambitieux de trouver par cette homéotropie si bien accueillie, « le procédé simple, sensible et précis pour déterminer dans les spiritueux du commerce et les boissons alcooliques la présence et la quantité des substances autres que l'alcool vinique, » procédé demandé aux chimistes et aux physiciens depuis 1887 par le Parlement et par l'Académie des Sciences.

Je pus passer en deux ans de la sensibilité du vingtième à celle du centième, puis du demi-millième, mais les progrès réalisés restaient au-dessous des difficultés à vaincre. Sentant qu'il me faudrait de nombreuses années à travailler dans une voie très incertaine, et surtout de nombreux auxiliaires à conquérir, pour arriver à quelques résultats pratiques, je tâchai d'oublier provisoirement les alcools, et je me bornai à publier un premier mémoire fixant et expliquant les principes de l'homéotropie<sup>(1)</sup> et un deuxième pour en montrer l'application à l'analyse des essences<sup>(2)</sup>.

Je remettais à un avenir indéterminé tout travail nouveau sur les

(1) Caléfaction et capillarité (*Annales de chimie et de physique*, 7<sup>e</sup> série, t. IV, mars 1895).

(2) Méthode pour la recherche des falsifications des essences végétales (*Bulletin de la Société Chimique de Paris*, 3<sup>e</sup> série, t. XV et XVI; mai 1896).

alcools, lorsqu'il y a quelques années j'eus la satisfaction d'être invité par une personnalité éminente des Charentes à tâcher d'appliquer l'homéotropie à la spécification des eaux-de-vie de ce pays. Je n'osai tout de suite accepter les offres qu'on me faisait de produits d'origine certaine, mais de grande valeur, me souvenant de tous les hectolitres d'alcools que j'avais eu à faire rouler goutte à goutte les uns sur les autres, rien que pour parvenir à la sensibilité insuffisante du millième.

Mais à l'heure actuelle, croyant avoir combiné un programme logique d'expériences qui me permettra d'économiser les essais trop dispendieux et ayant de plus des sources variées et sûres d'eaux-de-vie naturelles mises à ma disposition par des amis plus nombreux, je me propose, en publiant enfin ces résultats anciens et ce programme nouveau, de prouver aux personnes dont le concours m'est nécessaire, que je ne poursuis pas une chimère en tentant sérieusement ce difficile problème de la spécification des eaux-de-vie naturelles.

Pour rendre intelligible par lui-même ce mémoire d'ensemble sur l'analyse des alcools, je suis forcé de rappeler tout d'abord les principes de l'homéotropie, quoiqu'ils aient été expliqués complètement dans les mémoires précités, et de reproduire aussi un certain nombre de résultats particuliers qui ont été également publiés, mais trop succincts et éparpillés, dans diverses revues. Du reste, dans les questions nouvelles, les résumés et les exposés de détail laissent souvent après eux quelque chose d'incompris. Ainsi, j'ai lu récemment dans un article de la *Revue générale de chimie pure et appliquée*, qui traitait des divers procédés actuels d'analyse des alcools, que la caractéristique de ma méthode était de reconnaître la bonne ou la mauvaise qualité d'un alcool par l'appréciation en bloc des impuretés, et par la comparaison avec un type connu. Je pourrai avoir dans l'avenir à employer ce moyen ; mais il n'en est pas moins vrai que le propre de l'homéotropie est au contraire de doser individuellement chaque impureté en la faisant servir elle-même de réactif, et que j'ai pu certainement le premier, dès 1892, doser séparément dans un alcool mauvais goût les alcools propylique, butylique et amylique. De même, je lis dans le nouveau Dictionnaire Larousse cette définition à contresens : « Homéotropie : Méthode d'analyse des liquides qui est basée sur ce fait, que si l'on fait tomber une goutte de liquide sur un liquide *de nature différente*, il n'y a pas mélange immédiat, mais roulement de la goutte sur le liquide. »

Je croyais pourtant que l'étymologie du mot par lequel j'ai voulu représenter les principes suivants que j'ai découverts, leur était bien conforme.

## I. — Principes fondamentaux de l'Homéotropie.

**PREMIER PRINCIPE.** — *Tout liquide peut être amené à rouler en gouttes sphéroïdales sur lui-même, grâce au matelas de vapeur qui sépare la goutte du support.*

Ainsi, en laissant tomber avec une paille une goutte d'eau-de-vie sur le ménisque liquide qui s'élève contre les parois d'un petit verre, on la fait rouler sur toute la surface libre.

Les liquides très volatils, comme certains éthers qui se refusent à rouler à la température ordinaire, roulent très bien sur eux-mêmes par refroidissement, tandis que les liquides trop peu volatils, comme la glycérine, roulent parfaitement quand on les chauffe au bain-marie à 100°. En réalité, il n'y a d'exception à citer que pour l'eau et les solutions aqueuses.

**DEUXIÈME PRINCIPE.** — *Deux liquides, chimiquement purs, différents, ne roulent jamais l'un sur l'autre, parce que la couche de vapeur protectrice de la goutte est absorbée immédiatement par le support, qui est vide de cette même vapeur.*

Quand on met ainsi en présence des liquides de fonctions chimiques différentes, par exemple les alcools, aldéhydes, acides, éthers, qui se rencontrent comme impuretés dans les eaux-de-vie naturelles, ils plongent avec une véritable violence l'un dans l'autre; il y a plus : les différentes espèces chimiques d'un même groupe se comportent de même entre elles. Ainsi, tandis que pour l'ensemble de leurs propriétés physiques et chimiques, les alcools homologues, méthylque  $\text{CH}^3$ . OH, éthylique ou vinique  $\text{C}^2\text{H}^5$ . OH, propylique  $\text{C}^3\text{H}^7$ . OH, butylique  $\text{C}^4\text{H}^9$ . OH, amylique  $\text{C}^5\text{H}^{11}$ . OH, présentent les plus grandes analogies et se différencient difficilement, nous les distinguerons au contraire très facilement par homéotropie, car chacun roule sur lui-même, et nul ne roule sur son voisin.

En vérifiant sur ces liquides qui peuvent coexister dans les eaux-de-vie, comme sur tant d'autres, ce deuxième principe, je n'ai trouvé







qu'une exception : celle des corps isomères, qui, comme les alcools butylique normal et isobutylique, ne peuvent se distinguer l'un de l'autre par homéotropie directe.

**TROISIÈME PRINCIPE.** — *Deux mélanges liquides, semblables qualitativement, mais différents quantitativement, roulent l'un sur l'autre quana ils se rapprochent de l'identité de composition, mais font le plongeon l'un dans l'autre quand ils s'éloignent suffisamment de cette identité, et la ligne de démarcation très précise (marquée d'ailleurs par un phénomène limite, l'alternance de plongeurs et de roulements plus hésitants) se prête à l'analyse de l'un des liquides par l'autre.*

Tout ce mémoire ne sera qu'une longue vérification de ce principe, comme le fut déjà le mémoire antérieur sur l'analyse des essences végétales (*loc. cit.*).

Expliquons de nouveau ici ce principe et donnons en un tableau figuratif complet, en prenant un exemple qui servira de base à toutes nos analyses, l'étude des conditions de plongeon et de roulement des mélanges d'alcool vinique et d'eau (*fig. 1*).

Dans ce cas, l'eau sera notre *liquide principal*, tandis que l'alcool à doser s'appellera l'*impureté*, de même que plus tard (par exemple pour la recherche de l'impureté alcool amylique) le mélange d'eau et d'alcool vinique pur à 90° ou à 25° deviendra le liquide principal.

Nous avons pris, dans ce graphique (1), comme abscisse en centième, la proportion d'alcool ou d'impureté dans le vase et comme ordonnée la proportion de la même impureté dans la goutte; chaque point du graphique correspond à une expérience faite sur 12 gouttes et qui est marquée par le chiffre des roulements obtenus.

On constate, à partir de 20°, qu'à *identité* de composition, c'est-à-dire pour la bissectrice des axes, il y a roulements complets, 12, et qu'il en est encore de même pour tous les points de deux bandes à peu près symétriques de part et d'autre de cette bissectrice, c'est-à-dire pour des compositions plus ou moins semblables des deux liquides, goutte et support : *bandes de roulement*. Pour les points écartés de cette bissectrice, c'est-à-dire pour les expériences faites avec des alcools de degrés suffisamment différents, on a toujours à marquer 0 roulement : *zone des plongeurs*. Enfin, cette bande médiane à roulements complets et ces zones latérales à plongeurs constants, ces compositions semblables et dissemblables, sont séparées par deux

lignes, à gauche et à droite de la bissectrice, lignes à peu près symétriques, correspondant à des roulements moins nombreux, de 4 à 6 et souvent plus faibles : *lignes d'analyse*.

Le champ d'expérience peut donc toujours se voir ainsi : une plate-forme de roulements, à la cote maxima qui est ici 12, mais que j'ai abaissée à 10 ou à 4 dans les analyses suivantes, par économie de temps. Cette plate-forme traverse, le long de la bissectrice des axes, les deux bas-fonds de gauche et de droite à la cote 0, qui se relie à elle par deux pentes plus ou moins raides, à gradient plus ou moins élevé.

On voit sur ce graphique que les mélanges d'eau et d'alcool vinique cessent de rouler l'un sur l'autre pour une différence maxima de composition de 5° en plus ou en moins.

Toutefois, à cause de la résistance de l'eau pure aux roulements, il se présente ici cette particularité que les roulements, même à identité de composition, ne commencent qu'à partir de 20 p. 100 d'alcool, et que de plus, au voisinage de ce degré, la moindre différence de composition est très facile à saisir : ainsi, les alcools à 19° et 21° ne roulent nullement sur l'alcool à 20°. C'est là une propriété que nous pourrions utiliser comme méthode alcoométrique, ainsi que l'était autrefois la preuve de Hollande par les coupeurs d'eau-de-vie des Charentes.

Pour les mélanges des autres alcools avec l'eau, cette même résistance aux roulements se fait encore sentir : les mélanges d'eau avec l'alcool méthylique pur ne roulent qu'à partir de 12 p. 100 d'alcool ; les mélanges avec l'alcool propylique à partir de 3 p. 100, avec l'alcool butylique à partir de 2 p. 100 et avec l'alcool amylique à partir d'environ 1 p. 100.

Pour les divers mélanges que nous rencontrerons, les plates-formes des roulements ont des largeurs très différentes ; les unes, très resserrées, fournissent de beaux cas d'homéotropie, dont je puis donner immédiatement comme exemple le mélange d'eau et d'alcool méthylique (*fig. 2*).

On voit qu'il n'y a roulement que jusqu'à une différence d'un degré en plus ou en moins.

L'alcool méthylique pourrait donc sans doute servir comme dissolvant auxiliaire pour le dosage de l'eau dans certains liquides commerciaux, comme, par exemple, les glycérines.

Dans d'autres cas au contraire, les bandes de roulements sont très

larges, encore à peu près symétriques de chaque côté de la bissectrice, mais embrassant presque tout le champ d'expériences; on n'a plus qu'aux angles extrêmes d'étroits bas-fonds, suffisants encore, mais pour une analyse moins précise

## Analyse des mélanges d'eau et d'alcool Méthyllique en proportions à peu près égales

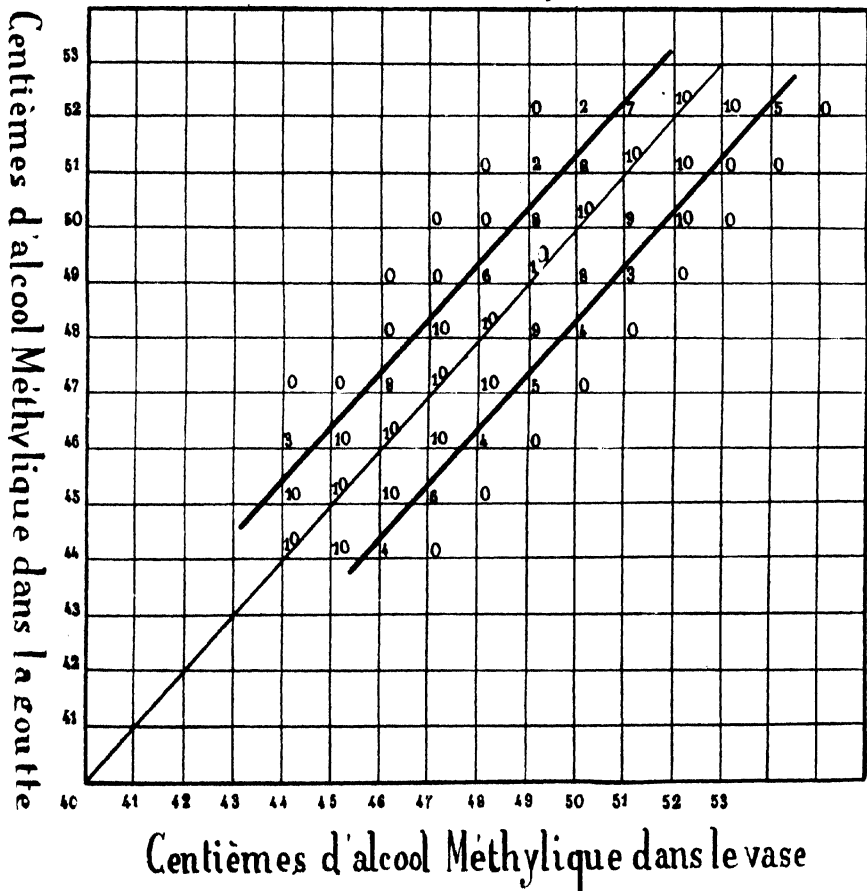


FIG 2.

J'en donnerai comme exemples les courbes (3) et (4) ci-contre pour le dosage des alcools supérieurs dans l'alcool vinique à 80° juste.

On n'a fait figurer ici, par économie de temps et de liquide, que la partie inférieure de la branche d'analyse de gauche, c'est-à-dire du

## Dosage de l'alcool Propylique

en centièmes

dans l'alcool vinique à 80°

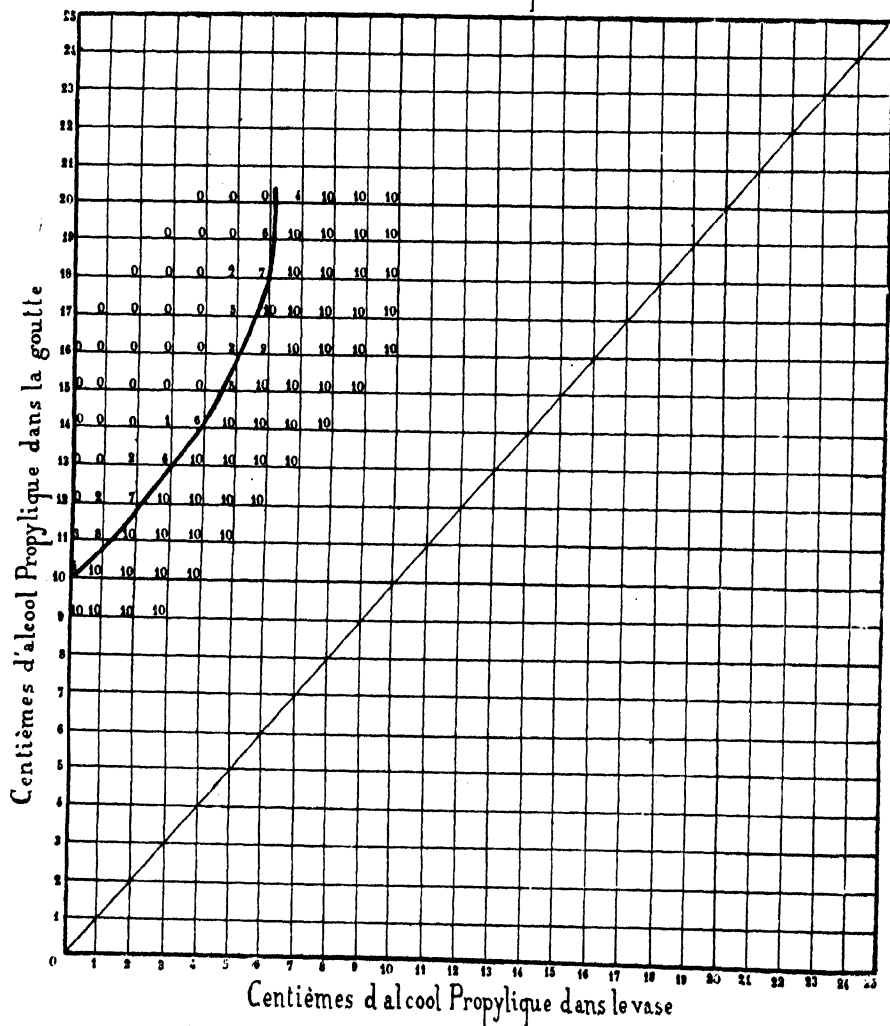


FIG. 3.

côté des abscisses faibles ou des petites doses d'impureté, ce qui est toujours suffisant pour la pratique.

On y voit que le réactif (alcool 80° à 12 p. 100 de propylique) plonge toujours dans l'alcool 80° pur, c'est-à-dire à 0 propylique et commence

### Dosage de l'alcool Amylique en centièmes dans l'alcool vinique à 80°

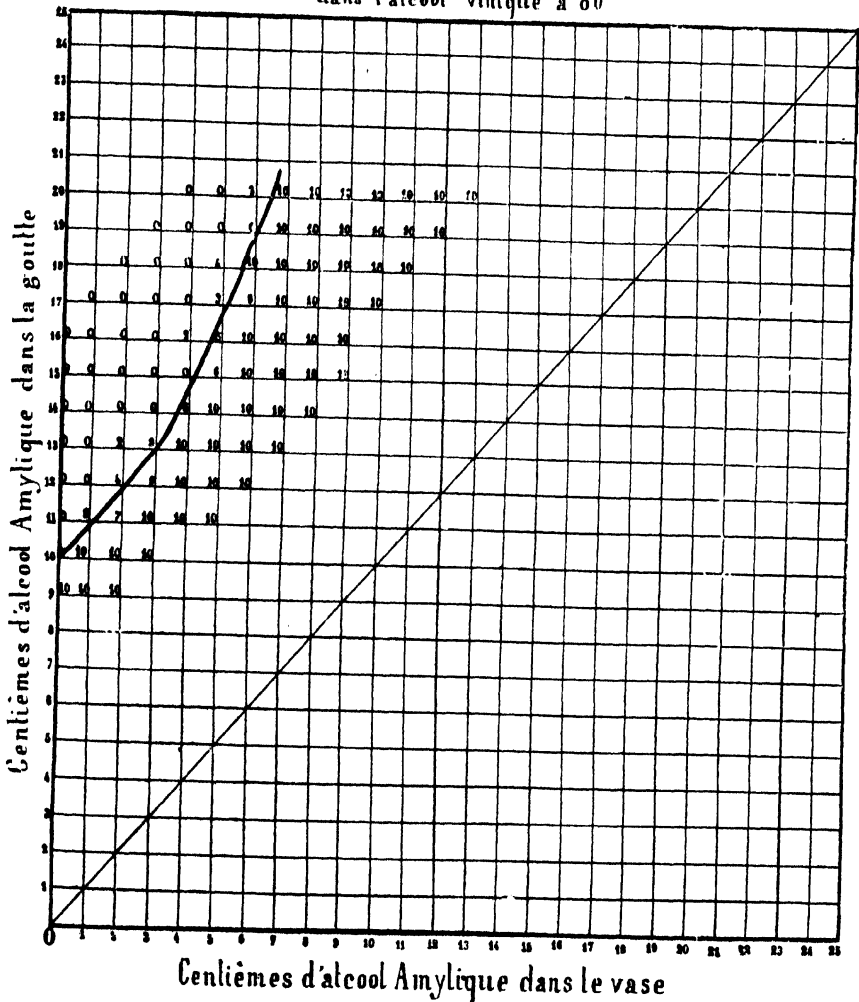


FIG. 4.

à rouler à 2 et 7 gouttes sur 1 p. 100 et 2 p. 100 d'impureté propylique et enfin roule à toutes gouttes, 10, sur 3 p. 100 de cette même impureté. On ferait la même constatation sur le graphique (4) pour l'alcool amylique et il en serait de même avec les mêmes chiffres pour l'alcool butylique intermédiaire.

Nous pouvons donc, avec un réactif formé en introduisant 12 p. 100 de l'alcool supérieur considéré dans de l'alcool vinique pur à 80°, reconnaître une petite quantité de cet alcool supérieur dans tout trois-six amené à 80°.

On voit sur cet exemple que la méthode consiste à s'adresser comme réactifs à des gouttes qui *contiennent dans le liquide principal étudié la dose minima d'impureté capable de les faire plonger toujours dans le liquide principal pur que contient la coupe; c'est ce que nous appellerons la dose critique*. On cherche ensuite sur quelles doses minima de cette même impureté dans le liquide d'essai cette goutte-réactif à dose critique est capable d'offrir d'abord le roulement limite, puis le roulement complet.

Dans le cas actuel nous n'avons pas une grande sensibilité, puisque le roulement limite ne se présente que pour 2 p. 100 d'impureté, et le roulement complet pour 3 p. 100. On voit que le roulement limite se prolonge beaucoup, entre 1 p. 100 et 3 p. 100, en sorte que, quand on le rencontre, on ne peut affirmer qu'à peine à 2 p. 100 près à quelle dose d'impureté on a affaire. On comprend donc que l'important, dans cette méthode, c'est de s'arranger pratiquement pour avoir des lignes fines d'analyse, un gradient élevé, un passage brusque des plongeurs complets aux roulements complets, puisque avec une courbe d'analyse fine, à une même ordonnée connue, correspondra toujours une même abscisse.

On verra, dans ce qui suit, comment, par un artifice assez simple, on a pu passer de cette sensibilité restreinte à celle du centième, puis à celle du millième qui est encore insuffisante, mais que nous saurons également dépasser.

Bien entendu, quand on dispose des réactifs critiques que j'ai définis plus haut, il est facile d'en faire usage aussi pour une analyse quantitative. Ayant constaté les roulements complets de ce réactif critique sur le liquide incriminé, ce qui y révèle la présence de plusieurs centièmes d'impureté, on diluera ce liquide d'essai avec du liquide principal pur, à un volume total 2, 3,  $x$  fois plus grand, jusqu'à

obtenir le roulement limite, lequel correspond à  $\frac{n}{100}$  d'impureté, plus ou moins exactement suivant le gradient. Ce résultat une fois obtenu,

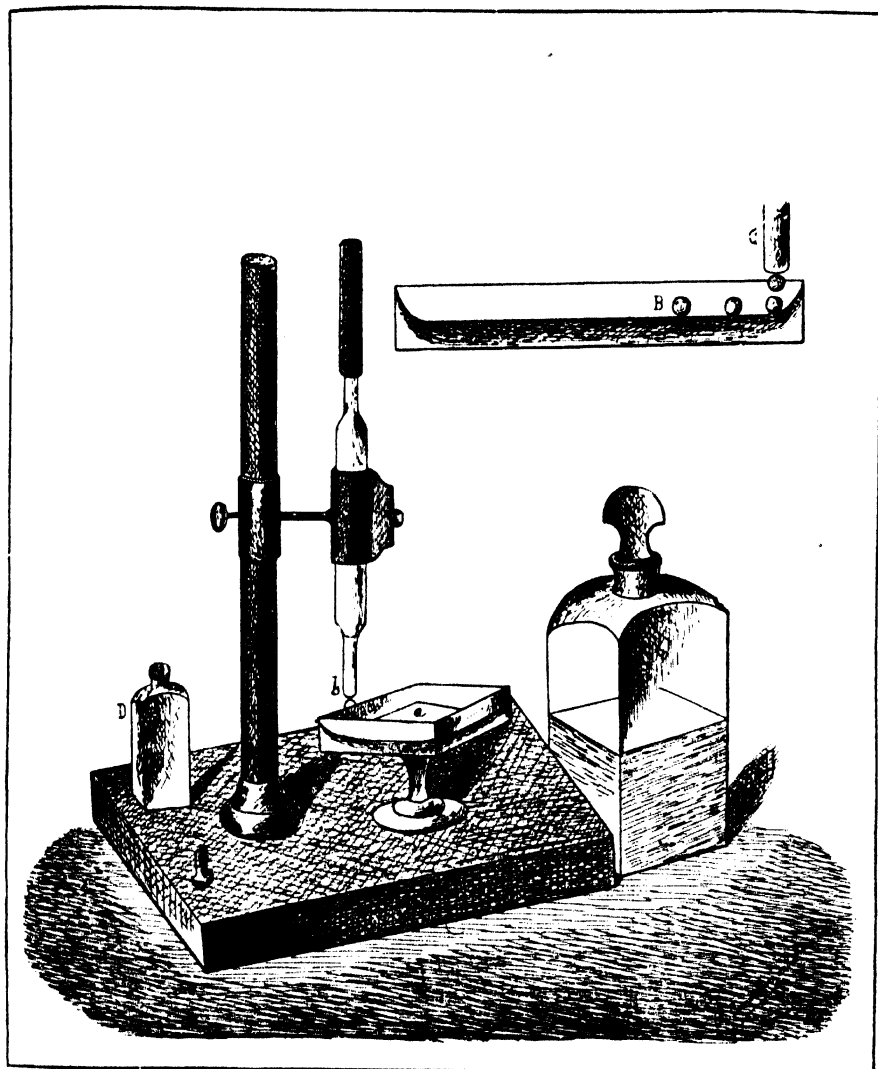


FIG. 5.

on saura donc que le liquide dilué contient ces  $\frac{n}{100}$  d'impureté et par conséquent que le liquide primitif d'essai en présentait  $x$  fois plus. Mais ces graphiques (3) et (4) qui m'ont servi à expliquer le procédé



d'analyse, sont insuffisants comme précision pour en faire l'application. Avant de passer à de meilleures courbes et après cet exposé théorique, abordons maintenant les conditions pratiques d'une bonne expérimentation.

## II. — Matériel d'analyse et Mode opératoire.

Le matériel nécessaire pour cette analyse est des plus simples : l'appareil essentiel, Homéotrope (*fig. 5*), se compose des deux pièces suivantes : 1° une petite coupe A, en verre moulé, dont les parois verticales, un peu convexes en dedans, se raccordent aux extrémités suivant un angle d'environ 30° et dans laquelle, grâce à cette forme, la surface libre du liquide qu'on y verse se relève aux deux bouts en formant deux pentes presque planes, très inclinées et allongées. 2° un compte-gouttes B, à coiffe de caoutchouc, qu'on fixe verticalement dans un support à base stable en ardoise.

On remplit la coupe à un niveau constant avec une pipette jaugée à un trait, et le compte-gouttes, par aspiration avec le petit flacon D. Pour que la chute des gouttes se fasse toujours dans les mêmes conditions et les meilleures, d'une hauteur d'environ 1 millimètre, on amène la pointe *b* du compte-gouttes jusqu'à la hauteur des bords de la coupe, au-dessus de la ligne médiane de cette coupe et en face de deux traits repérés à une distance d'environ 1 millimètre de l'arête.

On joindra à cet appareil quelques éprouvettes à pied, divisées en centimètres cubes, quelques pipettes divisées en dixièmes de centimètre cube, et enfin un grand nombre de petits flacons de cent centimètres cubes de contenance.

La préparation des réactifs exige qu'on sache obtenir d'abord des eaux-de-vie de titre bien déterminé; il suffit de se rappeler ce procédé de coupage courant : pour faire une eau-de-vie de degré  $n$ , avec un alcool de degré  $N$ , on prend  $n^{\text{cc}}$  de l'alcool  $N^{\circ}$  et on l'étend avec de l'eau jusqu'à un volume total de  $N^{\text{cc}}$ . En effet, dans ces  $N^{\text{cc}}$  du mélange, on a un nombre de centimètres cubes d'alcool absolu  $= n \frac{N^{\text{cc}}}{100}$  et le rapport des volumes de l'alcool et du mélange est bien  $\frac{n}{100}$ . Ainsi, pour faire de l'eau-de-vie à 20°, on prendra par exemple 20<sup>cc</sup> d'alcool à 90° que l'on étendra d'eau jusqu'à 90°.

C'est cette eau-de-vie qu'on fera bien de s'exercer à faire rouler à toutes gouttes sur elle-même, pour acquérir une habileté suffisante en homéotropie, car c'est surtout pour ce liquide, alcool 20°, le plus difficile de tous à faire rouler parfaitement, qu'il faut savoir se mettre en garde contre les accidents d'expérimentation.

Nous rappellerons donc rapidement les précautions indispensables :

Laver la coupe et le compte-gouttes avec les liquides qu'on y introduira ensuite, afin d'éviter toute poussière, tout liquide étranger qui pourraient se loger dans les angles et altérer les gouttes ou la pente de roulement.

Provoquer la chute des gouttes, sans soubresaut, par un léger mouvement à vis descendant de la poire de caoutchouc et après avoir enduit de savon la surface de glissement de cette poire.

On amollit de temps en temps le caoutchouc en le trempant dans de l'eau glycinée.

Achever le remplissage de la coupe en faisant rouler les dernières gouttes pour bien balayer la surface libre de toute bulle d'air.

Ne faire succéder les chutes de gouttes qu'à intervalle d'une demi-minute environ, car trop rapides elles peuvent vernir le passage pour les suivantes et provoquer ainsi des roulements accidentels, c'est-à-dire trompeurs.

Enfin, entre ces deux chutes, il est bon de ne pas laisser le liquide s'évaporer au bec du compte-gouttes et de le ramener à l'intérieur par un petit mouvement ascendant de la poire de caoutchouc.

Il importe, d'ailleurs, d'une manière générale, de ne pas laisser les liquides sur lesquels on opère se modifier par évaporation et de prendre garde qu'ils soient dans la coupe et le compte-gouttes à la même température quelconque d'ailleurs.

Nous sommes maintenant en mesure d'essayer l'application de l'homéotropie à l'analyse des alcools; mais avant d'aborder la recherche des impuretés alcooliques, il importe de savoir faire par la même méthode le dosage de l'alcool vinique lui-même dans les mélanges d'eau et d'alcool; il y a deux raisons pour débiter ainsi :

1° Acquérir une certaine habileté dans l'emploi du procédé et en vérifier la précision en s'exerçant sur une analyse qui offre de nombreux moyens de vérification par l'alambic Salleron, par l'ébullioscope Malligand, le compte-gouttes Duclaux, etc.

2° Pouvoir doser l'alcool sur un échantillon de liquide très minime, dosage préliminaire qui est parfois indispensable dans la recherche des impuretés alcooliques.

### III. — Alcoométrie par homéotropie.

Nous distinguerons ici deux cas :

1° Celui des liqueurs de degré supérieur à 20°, qui roulent sur elles-mêmes ;

2° Celui des boissons de degré inférieur à 20°, qui, ne pouvant rouler sur elles-mêmes, ont besoin d'une suralcoolisation préalable.

#### 1<sup>er</sup> CAS. — Alcoométrie des liqueurs de degré supérieur à 20.

PRINCIPE. — Soit une liqueur de degré inconnu,  $x^\circ$ .

On en mesure 20<sup>cc</sup> ; on les étend progressivement avec de l'eau jusqu'à abaisser le titre juste à 20°, ce que l'on reconnaît par le *roulement parfait* sur une autre eau-de-vie à 20° prise comme type.

Comme le volume total est à ce moment-là  $x^{cc}$ , l'expérience fournit ainsi par une simple mesure de volume le titre cherché,  $x^\circ$ .

EXEMPLE. — Soit un cognac, dont la simple dégustation nous indique un titre au voisinage de 50°, qu'on peut d'ailleurs vérifier grossièrement par roulement sur un alcool de 45° à 55°. Nous pouvons donc économiser du temps en étendant tout de suite 20<sup>cc</sup> de cette liqueur à 44<sup>cc</sup> ; puis, ajoutant de l'eau, centimètre cube par centimètre cube, nous constatons les résultats suivants, en essayant les roulements, et pour 4 gouttes seulement, après chaque addition, sur l'eau-de-vie à 20° de la coupe :

A 44<sup>cc</sup> on obtient 0 roulements.

45 <sup>cc</sup>	—	0	—
46 <sup>cc</sup>	—	0	—
47 <sup>cc</sup>	—	1	—
48 <sup>cc</sup>	—	2	—
49 <sup>cc</sup>	—	4	—
50 <sup>cc</sup>	—	4	—
51 <sup>cc</sup>	—	3	—
52 <sup>cc</sup>	—	1	—
53 <sup>cc</sup>	—	0	—
54 <sup>cc</sup>	—	0	—



roulement parfait à 49°,5

Le roulement *parfait*, c'est-à-dire de 20° sur 20°, se distingue par la disposition symétrique, de part et d'autre de lui, soit des roulements complets extrêmes, soit des roulements limite extrêmes, soit enfin des plongeurs complets voisins.

En un mot, il correspond à un volume qui est la moyenne :

1° Des volumes donnant les roulements complets

$$\text{extrêmes : ici. . . . .} \quad \frac{49 + 50}{2} = 49,5$$

2° Des volumes donnant les roulements limite

$$\text{initial et final. . . . .} \quad \frac{47 + 52}{2} = 49,5$$

3° Des volumes donnant les plongeurs complets

$$\text{final et initial. . . . .} \quad \frac{46 + 53}{2} = 49,5$$

La période de roulement peut être plus ou moins étendue, s'allongeant un peu quand la température est basse, quand les liquides sont plus visqueux, quand les gouttes sont plus petites; on ne trouve pas toujours trois moyennes identiques comme ci-dessus, mais on comprend que la plus ou moins grande concordance de ces moyennes renseignera sur la plus ou moins grande exactitude de l'opération. On pourra d'ailleurs corriger la première détermination par une seconde où l'on ne commencera les additions d'eau successives que plus près du titre cherché et en les faisant se succéder par demi-centimètre cube.

2° CAS. — *Alcoométrie des boissons de degré inférieur à 20°.*

PRINCIPE. — On suralcoolise préalablement le liquide avec une eau-de-vie de vinage de titre tel que, mêlée à volumes égaux à de l'eau pure, elle l'amènerait juste à 20°. J'ai été conduit par expérience à adopter une eau-de-vie de vinage de 39°,2, ce qui correspond d'ailleurs à une contraction moyenne de 2 p. 100. Si le liquide d'essai contient de l'alcool, il faudra après vinage, pour le ramener à 20°,

ajouter d'autant plus d'eau que le titre cherché est plus élevé.

Les réactifs et les pipettes sont choisis de telle sorte que le titre soit donné au  $\frac{1}{10}$  de degré, tout simplement par la lecture du nombre de divisions d'eau ( $\frac{1}{10}$  de c. c.) qu'on ajoute pour ramener le mélange à 20°.

L'opération est donc des plus simples : On prend, avec une pipette, 20<sup>cc</sup> ou 200 divisions de vin, puis 20<sup>cc</sup> ou 200 divisions de l'eau-de-vie de vinage, 39°,2, qu'on mélange dans une fiole quelconque. On ajoute peu à peu avec une burette ou une pipette partagée en  $\frac{1}{10}$  de centimètre cube, P divisions d'eau, jusqu'à obtenir le roulement parfait sur l'eau-de-vie type à 20°.

Le titre du vin est P dixièmes de degré.

DÉMONSTRATION. — Soit  $x$  le degré inconnu du vin :

$$\begin{aligned} \text{Le volume d'alcool absolu contenu dans le mélange} &= \left( 200 \frac{x}{100} + 200 \frac{39,2}{100} \right) \text{ divisions} \\ &= 2 (x + 39,2) \text{ divisions.} \end{aligned}$$

Le volume total du mélange, à cause de la contraction = (392 + P) divisions (en négligeant la très petite contraction due à l'addition des P divisions d'eau).

Le titre du mélange à roulement parfait est donc, par définition  $\frac{2 (x + 39,2)}{392 + P}$ .

D'autre part, on sait, par homéotropie, que ce même titre est 20 p. 100 ou  $\frac{1}{5}$ .

De là, l'équation  $10 (x + 39,2) = 392 + P$  ou  $10 x = P$ .

L'abaissement du titre de 1° exigeant une addition de dix divisions, on voit que la méthode est sensible au  $\frac{1}{10}$  de degré.

EXPÉRIENCE. — Dans une fiole de 100<sup>cc</sup> par exemple, on introduit donc 20<sup>cc</sup> du vin inconnu et 20<sup>cc</sup> de l'eau-de-vie de vinage, et on agite. — Alors, sachant par dégustation que le titre est certainement supérieur à 7°, on ajoute tout de suite 7<sup>cc</sup> d'eau ou 70 divisions et on commence les essais. Pour cela, on introduit chaque nouveau mélange dans le compte-gouttes de l'homéotrope avec le petit flacon D et, après chaque expérience, on reverse tout le liquide restant dans la fiole. Il faut en effet que toutes les additions d'eau portent sur le mélange régulièrement croissant (392 + P) divisions.

Voici les résultats d'une expérience prise au hasard :

70 divisions donnent 0 roulements sur l'eau-de-vie à 20°

75	—	0	—	—
80	—	0	—	—
85	—	2	—	—
90	—	3	—	—
92	—	4	—	—
94	—	4	—	—
96	—	4	—	—
100	—	3	—	—
105	—	2	—	—
110	—	0	—	—
115	—	0	—	—

$$\text{Moyenne pour roulements complets extrêmes} = \frac{92 + 96}{2} = 94$$

$$\text{Moyenne pour roulements limite extrêmes} = \frac{90 + 100}{2} = 95$$

$$\text{Moyenne pour plongeurs complets initial et final} = \frac{80 + 110}{2} = 95$$

Le titre est donc aux environs de 9,5.

Mais on pourra le vérifier dans une deuxième opération en faisant maintenant les additions d'eau, division par division, de 85° à 105°.

On fera bien de renouveler l'eau-de-vie réactif à 20° de la coupe deux ou trois fois par opération, car une vingtaine de gouttes tombées dans la coupe en changent déjà trop le titre et le niveau. Il est bon aussi de ne pas tenir compte dans chaque essai de l'indication de la première goutte, laquelle peut entraîner une poussière ou une bulle d'air pouvant produire un plongeon accidentel.

Avec du soin, on arrive, par ce procédé rapide et qui n'exige que 20° de liquide, à obtenir des résultats qui concordent avec ceux que donne l'alambic Salleron par distillation de 300° de vin et par l'emploi de l'alcoomètre légal à degrés de 5 millimètres. Pour les vins de liqueur cependant la concordance laisse à désirer, mais il en est de même de toutes les méthodes alcoométriques courantes.

Le même procédé peut servir à doser l'alcool dans les résidus de distillation qui en contiennent moins de 1 p. 100. On prend dans ce cas 100° du liquide d'essai; on les rectifie en recueillant les 20 premières

centimètres cubes, sur lesquels on opère comme il vient d'être dit pour le vin, et on divise par 5 le titre obtenu.

Il est bien entendu que cette application n'offre pas le même intérêt pratique que l'analyse des impuretés alcooliques, et que, par suite, on n'a pas fait les mêmes efforts pour la perfectionner et lui donner la même précision.

#### IV. — Le problème des analyses d'alcools.

J'aborde maintenant cette question si complexe de la recherche des impuretés alcooliques, avec le regret sans doute de ne point encore apporter ici la solution complète cherchée, mais avec la confiance pourtant de montrer que les progrès obtenus par des artifices simples peuvent en faire espérer de nouveaux qui assureraient à la méthode une utilité certaine.

Je vais donc, dans le but non dissimulé de conquérir des auxiliaires convaincus pour la réalisation des perfectionnements rêvés, tâcher de mettre en lumière les accroissements graduels de sensibilité et de sûreté que j'ai pu obtenir peu à peu. Je prendrai comme exemple le cas où l'amélioration de la méthode s'est fait sentir jusqu'ici de la façon la plus accentuée, c'est-à-dire le dosage de chacun des alcools supérieurs, Propylique, Butylique et Amylique. On sait aujourd'hui qu'ils sont à peu près complètement éliminés des *alcools neutres* d'industrie, mais qu'ils sont à grande dose dans les alcools mauvais goût et à dose toujours notable dans les eaux-de-vie naturelles.

Je me suis attaché, dès 1891, à la recherche de ces trois impuretés avec plus de ténacité que pour toutes les autres, à la suite d'un rapport présenté aux Chambres, en 1889, par une sous-commission technique extra-parlementaire qui avait eu pour mission d'étudier la composition en impuretés des alcools industriels et des eaux-de-vie naturelles.

Trois conclusions de cette commission m'avaient vivement frappé :

« 1° Parmi les impuretés des alcools mauvais goût, les alcools propylique, butylique et amylique sont les plus abondantes, mais n'existent qu'en traces dans les alcools dits neutres. »

« 2° Les produits qu'on rencontre dans les alcools d'industrie et

surtout les alcools supérieurs existent d'une manière constante dans les eaux-de-vie naturelles; le plus important est l'alcool butylique normal; l'alcool amylique ne paraît pas contribuer à leur donner un mauvais goût à la dose de 0<sup>m</sup>8 par litre. »

« 3<sup>o</sup> A la suite de nombreux essais, on peut regarder comme un fait acquis qu'il est possible de reconnaître la plupart des impuretés alcooliques et d'en apprécier d'une manière approximative la proportion par l'intensité des réactions qu'elles fournissent; quelques-unes, il est vrai, comme les alcools amylique, butylique et propylique, ne présentent pas de *réactions spéciales bien caractérisées* qui permettent de les reconnaître isolément; les indications fournies permettent seulement de reconnaître si un alcool est plus ou moins complètement rectifié. »

La sous-commission rappelait d'ailleurs un mémoire de 1886 de M. Ordonneau, qui en distillant 3 hectolitres d'une eau-de-vie de Cognac de 25 ans y découvrit 40 grammes d'alcool propylique, 83 grammes d'alcool amylique et 218 grammes d'alcool butylique normal, et aussi un autre mémoire de 1887 de MM. Morin et Claudon, qui ont trouvé, dans 50 litres d'une eau-de-vie de Surgères de 1883, 6 grammes d'alcool isobutylique, 27 grammes d'alcool propylique et 190 grammes d'alcool amylique.

Puisqu'il y avait à cette époque dans tous les alcools artificiels et naturels des substances impossibles à doser, auxquelles d'ailleurs de nombreux hygiénistes attribuaient tous les méfaits de l'alcoolisme, c'est à la recherche des dites substances qu'il me parut le plus intéressant de s'attaquer.

#### V. — Dosage des alcools supérieurs dans l'alcool vinique à 50°

Les résultats indiqués aux tableaux (3) et (4) ci-dessus, quoique beaucoup trop grossiers, me donnaient déjà une certaine confiance pour l'avenir.

Ayant été invité par le Directeur du laboratoire central de la Régie à essayer d'appliquer ma méthode à la recherche et au dosage de l'alcool propylique, je reçus à analyser, comme problème d'essai, des alcools à 50° qu'il avait rendus impurs à un degré connu au-dessus et au-dessous de 1 p. 100.



Je fus conduit ainsi à dresser mes courbes d'analyses pour ce nouveau degré et j'eus le plaisir de constater que dans ces mélanges plus aqueux, la sensibilité était déjà un peu meilleure qu'à 90° et que pour cette dose voisine de 1 p. 100, le problème était peut-être possible.

## Dosage de l'alcool Propylique en centièmes dans l'alcool vinique à 50°

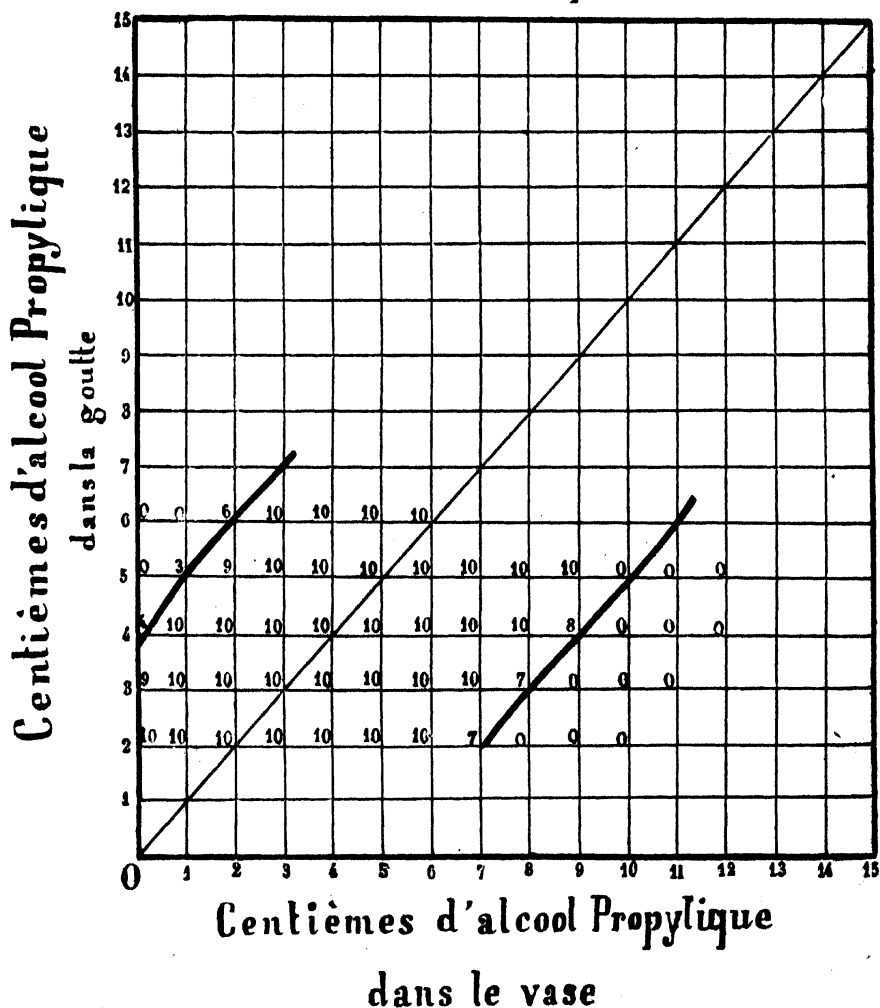


FIG. 6.

On remarquera sur ces nouvelles courbes (6) (7) et (8) que la largeur des plates-formes de roulement va en décroissant de l'alcool propylique à l'alcool butylique et à l'alcool amylique.

# Dosage de l'alcool Butylique

en centièmes

dans l'alcool vinique à 50°

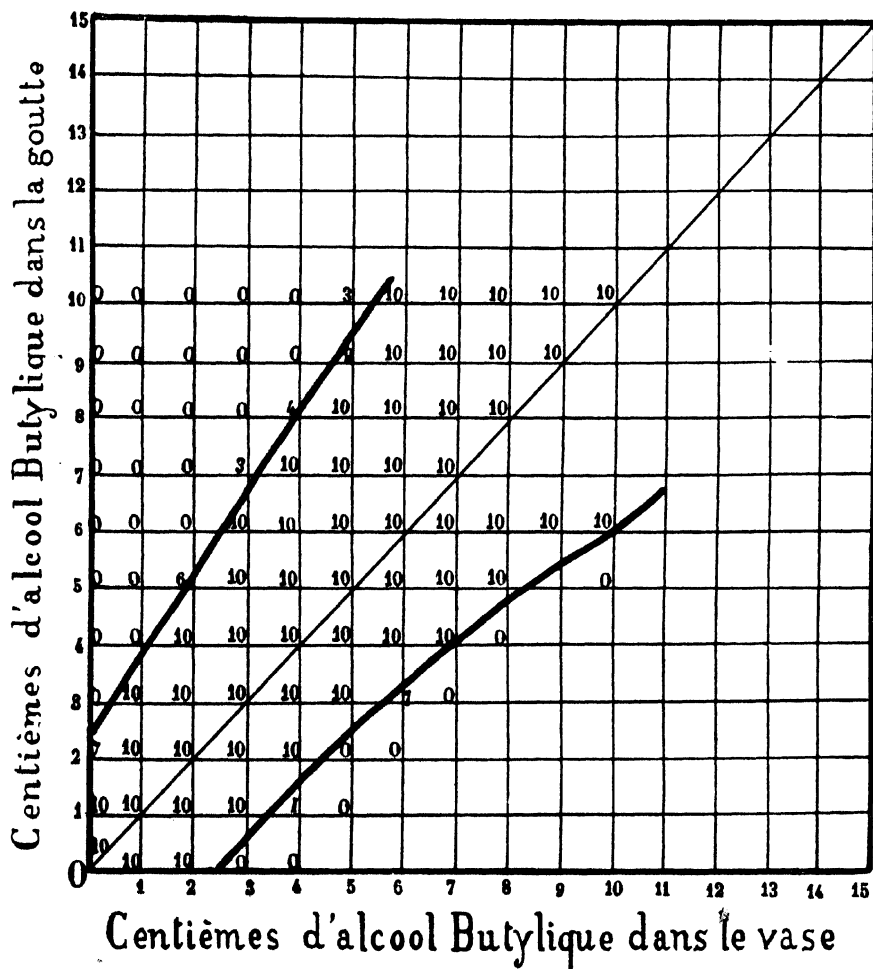


FIG. 7.

Ainsi, pour l'alcool propylique, j'avais à me servir de gouttes d'épreuve formées d'alcool vinique 50° avec 5 p. 100 d'alcool propylique et pour l'alcool butylique de gouttes à 3 p. 100 du même alcool, tandis que pour l'alcool amylique il n'en fallait plus que 2 p. 100.

## Dosage de l'alcool Amylique

en centièmes

dans l'alcool vinique à 50°

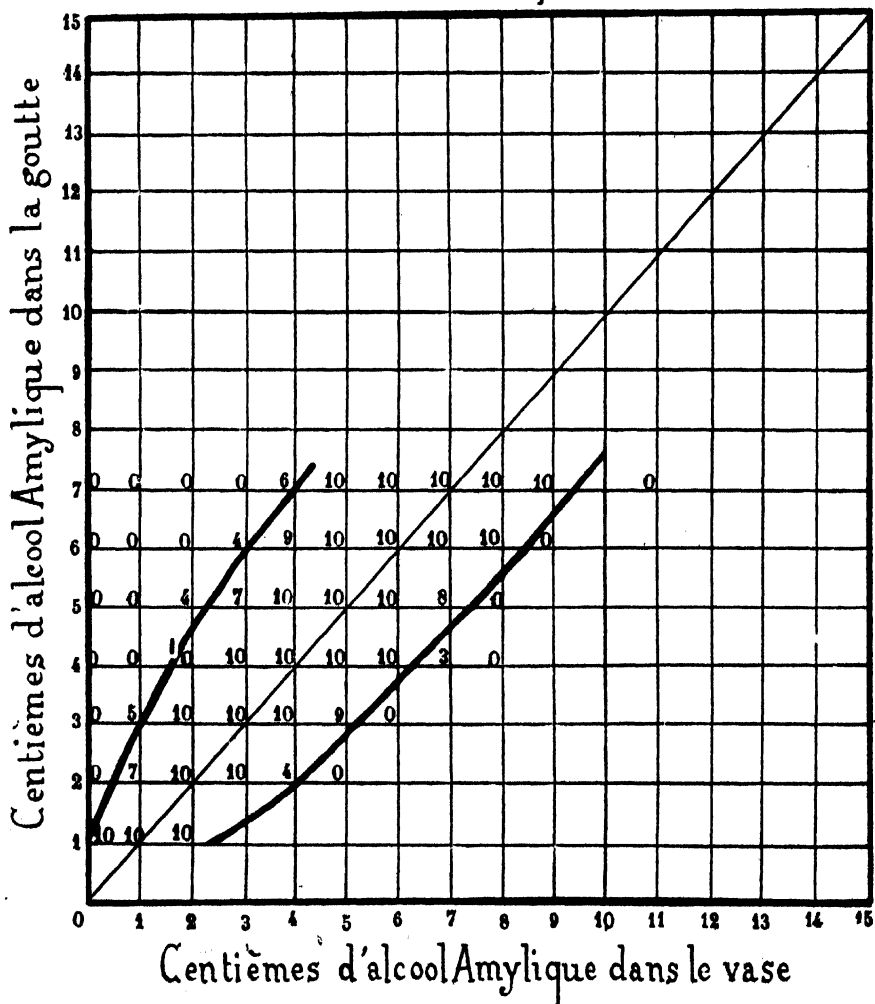


Fig. 8.

On peut voir aussi, et ce sont là deux particularités qui sont généralement solidaires, que le gradient va en croissant de l'alcool propylique à l'alcool amylique, que la ligne d'analyse devient plus fine.

Ainsi la goutte critique 5 p. 100 de propylique, qui plonge dans l'alcool vinique pur, ne donne que 3 ou 4 gouttes roulantes sur 1 p. 100 et le roulement complet seulement sur 2 p. 100 d'impureté, tandis que la goutte critique à 3 p. 100 de butylique plonge dans l'alcool vinique pur et roule pleinement sur 1 p. 100 de même que la goutte à 2 p. 100 d'amylique.

Quoique ennuyé de cette petite infériorité de précision vis-à-vis de l'alcool propylique, je tentai cependant l'essai à l'aide de l'artifice suivant qui nous deviendra d'ailleurs utile dans tous les cas.

Au lieu de m'adresser au seul réactif 5 p. 100, je lui associai les deux réactifs voisins 4 p. 100 et 6 p. 100 pour tenir compte de leurs indications simultanées.

Alors, dix gouttes de chacun de ces trois réactifs me donnaient par leur ensemble d'après les chiffres du tableau (6) :

- 1° Sur l'alcool pur ( $4 + 0 + 0$ ), soit environ 5 roulements en tout ;
- 2° Sur l'alcool à 1 p. 100 d'impureté ( $10 + 3 + 0$ ), soit environ 15 roulements en tout ;
- 3° Sur l'alcool à 2 p. 100 d'impureté ( $10 + 9 + 6$ ), soit environ 25 roulements en tout.

Pour l'application à mon problème, je procédai par interpolation, en admettant entre 0 et 2 p. 100 d'alcool propylique la proportionnalité de l'impureté au nombre des roulements obtenus. De cette façon avec une courbe qui ne promettait *a priori* que la sensibilité du centième, j'atteignis en général la sensibilité de  $\frac{2}{10000}$  ; et dans cette application à un problème de régie, ma méthode, quoique encore dans l'enfance, put mériter une aimable sanction officielle.

Elle lui fut donnée dans la « circulaire n° 61 du 25 juin 1893, par laquelle le Directeur général des Contributions indirectes faisait connaître la nouvelle décision du Comité des Arts et Manufactures relative aux alcools dénaturés et les procédés analytiques qu'il préconisait ».

On y lit les considérations suivantes :

« Pour mettre obstacle à des fraudes très importantes, le Comité des Arts et Manufactures a limité la teneur en huiles essentielles de l'alcool à dénaturer à celle que contiennent normalement les alcools mauvais goût sortant des distilleries. Cette règle n'avait pu être

adoptée jusqu'ici parce qu'il n'existait pas de méthode à la fois simple et rigoureuse pour déterminer avec certitude cette teneur en huiles essentielles des alcools d'industrie. Il n'en est plus de même aujourd'hui. Utilisant les observations faites par divers expérimentateurs, le directeur du Laboratoire central de l'Administration, M. Bardy, a réussi à combler cette lacune. Après avoir vérifié l'exactitude de son procédé sur des alcools synthétiques de composition connue, il l'a appliqué aux alcools mauvais goût d'industrie et a constaté que, sauf de très rares exceptions, ils contiennent moins de 1 p. 100 d'alcools supérieurs.

» Les échantillons d'alcools à dénaturer seront donc soumis aux procédés analytiques de la pièce annexe A, qui sont obligatoires aussi bien pour les industriels que pour l'Administration. »

Cette pièce annexe A qui décrit ces procédés réglementaires se termine par la phrase suivante :

« Le dosage approximatif de l'alcool propylique ainsi pratiqué sera suffisant dans la majeure partie des cas. *Si une détermination plus précise était nécessaire, elle serait faite par la méthode homéotropique.* »

Mais le plus grand service que cette administration ait rendu à l'homéotropie fut de m'amener à remplacer les graphiques (6), (7), (8) ci-contre par des courbes d'une plus grande précision, en me donnant par ses problèmes la compréhension des perfectionnements à réaliser.

## VI. — Dosage des alcools supérieurs dans l'alcool vinique 25°.

En faisant l'expérimentation de la méthode sur des alcools étendus à 25°, nos espérances furent dépassées, car on peut constater sur les graphiques suivants (9), (10) et (11) que la sensibilité était du même coup décuplée.

Ces graphiques ont été obtenus, en effet, en faisant des mélanges synthétiques d'eau-de-vie pure 25° avec des doses d'impuretés croissant par millième seulement de 1 à 15 p. 1,000.

On voit que les gouttes à 7 p. 1,000 d'alcool propylique plongent complètement dans l'alcool 25° pur et roulent presque complètement sur la même eau-de-vie 25° à un millième de propylique; de plus, le

gradient est très élevé, ou si l'on veut le roulement limite est bien restreint. On peut même appliquer la méthode d'interpolation indiquée plus haut pour doser des dix millièmes.

# Dosage de l'alcool Propylique

en millièmes

dans l'alcool vinique à 25°

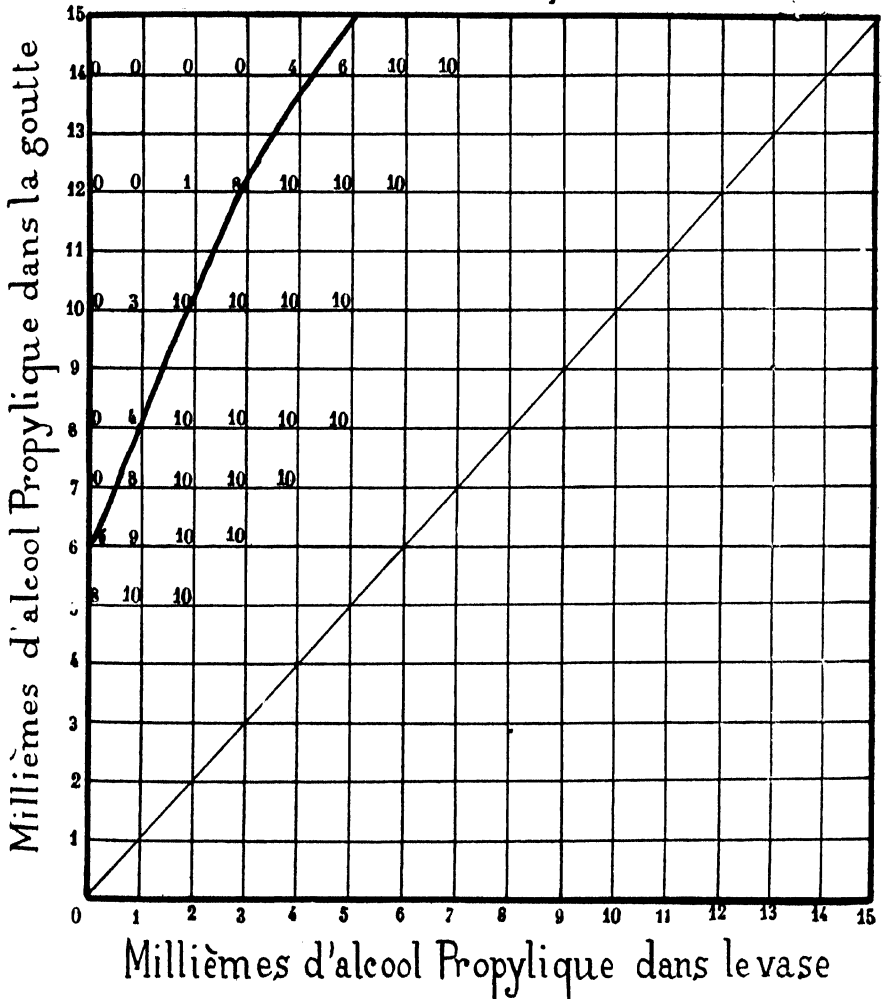


FIG. 9.

En effet, les trois réactifs 6 p. 1,000, 7 p. 1,000, 8 p. 1,000 donnent ensemble environ, avec leurs trente gouttes :

- 1° 5 roulements sur l'eau-de-vie pure ;
- 2° 20 roulements sur l'eau-de-vie à  $\frac{1}{1000}$  de propylique ;
- 3° 30 roulements sur l'eau-de-vie à  $\frac{2}{1000}$  de propylique ;

## Dosage de l'alcool Butylique

en millièmes

dans l'alcool vinique à 25°

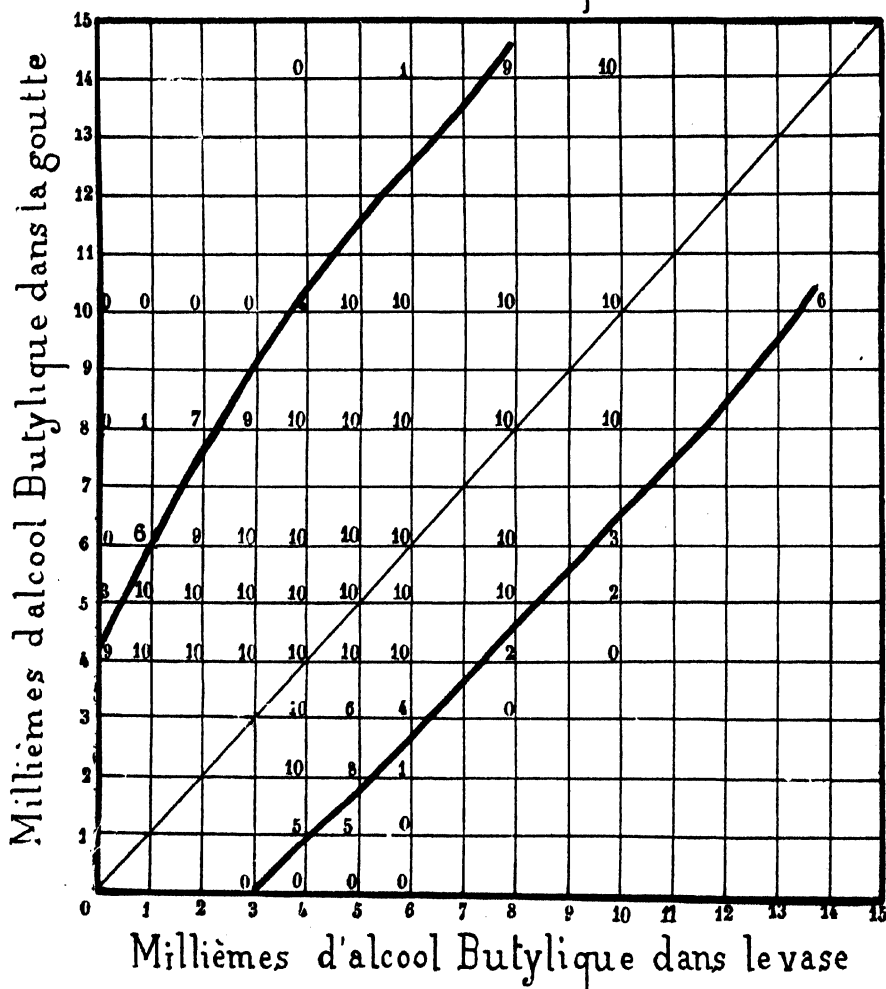


FIG. 10.

donc, en admettant la proportionnalité de l'impureté au nombre des roulements, hypothèse que nous justifierons plus loin, on voit qu'il y a de la marge de 5 à 20 roulements pour apprécier des fractions de millième.

Avec les alcools amylique et butylique, comme le montrent les courbes (10) et (11), les réactifs critiques sont à 6 p. 1,000 d'impureté seulement et la sensibilité est encore plus grande.

Je crus donc pouvoir signaler ce mode d'analyse assez précis à l'Académie des Sciences, dans une communication du 23 avril 1893, car je le croyais d'un emploi déjà utile.

Un document officiel de la même époque me montrait, en effet, qu'on n'avait certainement encore aucun procédé de dosage pour ces trois alcools et que j'étais arrivé à une sensibilité suffisante pour apprécier les mauvais alcools du commerce.

On trouve, en effet, dans l'annexe du procès-verbal de la séance de la Chambre des députés du 15 février 1893, à propos d'une proposition de loi pour la rectification de l'alcool par l'État, un rapport de M. Guillemet sur les analyses d'alcools.

Ce rapport établit la très mauvaise qualité d'un certain nombre d'échantillons d'eau-de-vie saisis chez les débitants de Paris et analysés par M. le Dr Héret pour le compte de la Chambre.

Or, dans les tableaux du Dr Héret, les alcools supérieurs figurent comme la plus fréquente et la plus abondante impureté, soit 0<sup>sr</sup>88, 1<sup>sr</sup>5, 3<sup>sr</sup>6, 2<sup>sr</sup>97, etc., par litre d'alcool 90°, et le chimiste expert y exprime son regret de n'avoir pu, faute de réactions spéciales connues, apprécier qu'en bloc cette teneur en huiles essentielles, par le procédé Röse.

Pour m'assurer que l'homéotropie pouvait combler cette lacune, je pris soin alors de vérifier que l'indication de chacun de nos réactifs spéciaux, qui dévoilent chaque impureté par elle-même, n'était pas troublée pour chaque alcool par le voisinage des autres; qu'en un mot *dans un mélange impur chaque impureté se dose comme si elle était seule.*

Je citerai, par exemple, l'expérience synthétique suivante prise parmi un grand nombre d'autres.

Je fis le mélange $\alpha$	{	17% alcool butylique.
		8% alcool amylique.
		0 alcool propylique.
		75% alcool éthylique absolu.



Dans des flacons d'alcool pur 25 p. 100, j'introduisis séparément les doses suivantes :  $\frac{1}{8}$  α p. 100,  $\frac{1}{2}$  α p. 100, 1 α p. 100, 2 α p. 100, et je soumis ces eaux-de-vie impures à l'épreuve de mes trois réactifs :

à 7 p. 1,000 de propylique,  
6 p. 1,000 de butylique,  
6 p. 1,000 d'amylique.

J'obtins les résultats expérimentaux du tableau ci-dessous qui, comparés à nos graphiques, font bien retrouver les doses de chaque impureté introduites dans les divers flacons et faciles à calculer.

*Nombre de roulements des réactifs sur les liquides synthétiques d'essai.*

	A $\frac{1}{8}$ α 0/0	B $\frac{1}{2}$ α 0/0	C 1 α 0/0	D 2 α 0/0
7 0/00 propylique. . .	0	0	0	1
6 0/00 amylique. . . .	0	0	5	10
6 0/00 butylique . . .	3	6	10	10

Comparons pour chaque alcool les proportions révélées aux proportions connues :

1° ALCOOL PROPYLIQUE. — Nous voyons que les gouttes indiquent bien l'absence constante de cet alcool dans les quatre flacons :

2° ALCOOL AMYLIQUE (graphique 11) :

Les gouttes indiquent en effet moins de  $\frac{1}{2}$  millième d'amylique dans A et B ;

Elles indiquent un peu plus de  $\frac{1}{2}$  millième dans C, et il y en a . . . . .  $\frac{8}{100} \times \frac{1}{100} = 0,0008$

Elles indiquent au moins 1 millième dans D, et il en a . . . 0,0016

3° ALCOOL BUTYLIQUE (graphique 10) :

Les gouttes indiquent  $\frac{1}{2}$  millième dans A,

et il y en a . . . . .  $\frac{17}{100} \times \frac{1}{300} = 0,00052$





Elles indiquent 1 millième dans B, et il y en a  $\frac{17}{100} \times \frac{1}{200} = 0,0085$

Elles indiquent 2 millièmes dans C, et il y en a . . . . . 0,0085

Enfin elles vérifient bien qu'il y a plus de 2 millièmes dans D.

Toutefois, lorsque les impuretés volatiles sont trop nombreuses et en trop grande quantité, il est clair qu'elles peuvent détruire toute homéotropie entre le liquide d'essai qui les contient toutes à haute dose et la goutte d'épreuve qui n'en contient qu'une seule, et on ne peut plus évidemment doser alors chaque impureté comme si elle était seule. Il faut, dans ce cas, pour que l'analyse par homéotropie soit possible, avoir quelques données sur la composition probable du mélange à examiner, afin de doser d'abord et au besoin d'éliminer ensuite du liquide d'essai les substances prédominantes ou de les ajouter dans les réactifs.

Ainsi, je dus renoncer, par exemple, à analyser le mélange suivant, répugnant au goût et à l'odorat et troublant l'eau affreusement :

Litre d'alcool 90° contenant	{	3 <sup>re</sup> aldéhyde cœnanthique,
		2 <sup>re</sup> — isobutylique,
		1 <sup>re</sup> — valérique,
		1 <sup>re</sup> — isopropylique,
		2 <sup>re</sup> éther amyvalérianique,
		1 <sup>re</sup> — amylacétique,
		3 <sup>re</sup> — acétique,
		1 <sup>re</sup> 5 alcool butylique,
		2 <sup>re</sup> alcool amylique,

mélange qu'un chimiste, très compétent d'ailleurs dans les questions d'alcools, m'avait adressé, en épreuve, pour me prouver, ce dont je ne doutais pas d'ailleurs, que ma méthode n'est pas d'un usage général.

C'eût été un travail terriblement long que de résoudre par homéotropie, et sans doute aussi par toute autre méthode, un problème à si grand nombre d'inconnues, et j'espère démontrer tout à l'heure qu'il n'est pas nécessaire de donner aux gouttes roulantes une pareille puissance de divination pour qu'elles puissent rendre des services.

L'important, c'est qu'elles puissent dans un certain nombre de problèmes pratiques déterminés donner des indications nettes et vérifiables de plusieurs façons.

C'est dans ce but que j'ai encore dressé une autre série de tableaux d'analyse, de sensibilité un peu supérieure à celle des précédents, en opérant sur des eaux-de-vie à 20°, c'est-à-dire à la limite de leur roulement.

## VII. — Dosage des alcools supérieurs dans l'alcool vinique à 20°.

Les courbes (12), (13) et (14), obtenues dans ces conditions limites, nous offrent des bandes de roulement un peu plus étroites encore qu'à 25° et avec un gradient plus élevé, un passage enfin très brusque des plongeurs complets aux roulements complets; on a de plus cette particularité que la goutte d'alcool amylique se balance longuement sur le liquide d'essai avant de plonger. Toutefois, il ne faut recourir à l'emploi de ces nouveaux graphiques que quand on a déjà la main bien exercée, car nous savons que c'est pour les eaux-de-vie à 20° que les roulements sont le plus facilement troublés par les causes d'erreurs accidentelles, et il ne faut négliger dans ce cas aucune des précautions signalées dans le mode opératoire. Mais, avec cette restriction que le procédé exige dans ce cas beaucoup de soin, on voit sur la figure. (12) ci-contre toute la précision qu'il comporte. Elle nous montre, en effet, qu'une goutte à 3 p. 1,000 seulement d'alcool amylique plonge dans l'eau-de-vie pure, donne le roulement limite à 4 ou 5 gouttes sur  $\frac{1}{2}$  millièrne d'amylique dans la coupe, et roule à toutes gouttes sur un seul millièrne.

Pour l'alcool butylique, il en est de même avec un réactif de même composition, et pour l'alcool propylique avec un réactif à 4 p. 1,000 d'impureté (*fig.* 13 et 14).

On conçoit donc qu'en appliquant ici le procédé d'interpolation déjà utilisé, nous puissions approcher de la sensibilité du dix millièrne.

1° Pour l'alcool amylique, les réactifs 4, 3, 2 nous donnent dans leur ensemble :

Avec 30 gouttes essayées	2 roulements environ sur 0 impureté.			
	15	—	—	sur $\frac{1}{2}$ millièrne.
	25	—	—	sur 1 millièrne.

On peut donc admettre  $\frac{1}{4}$  millièrne pour 7 roulements et  $\frac{3}{4}$  millièrne pour 20 roulements.

2° Pour l'alcool butylique (*fig. 13*), les mêmes réactifs 4, 3, 2 nous donnent 2 roulements sur 0 impureté, 10 roulements sur  $\frac{1}{2}$  millième, 22 roulements sur 1 millième; là encore évidemment par une simple

## Dosage de l'Alcool Amylique en millièmes

dans l'Alcool vinique à 20°

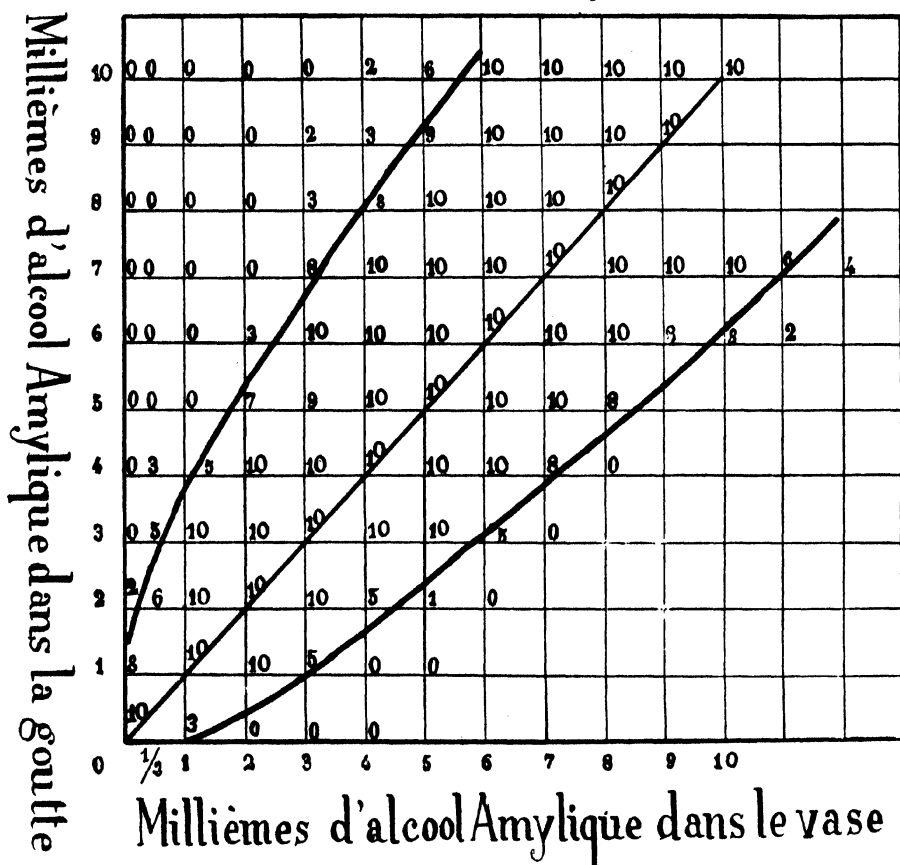


FIG. 12.

règle de trois nous apprécierons les dix millièmes et il en sera à peu près de même avec l'alcool propylique.

On voit donc qu'il y avait un certain intérêt à vérifier s'il y a bien

proportionnalité au moins approchée du nombre de roulements à la quantité d'impureté du liquide d'essai au voisinage du roulement limite.

## Dosage de l'Alcool Butylique en millièmes dans l'Alcool vinique à 20°

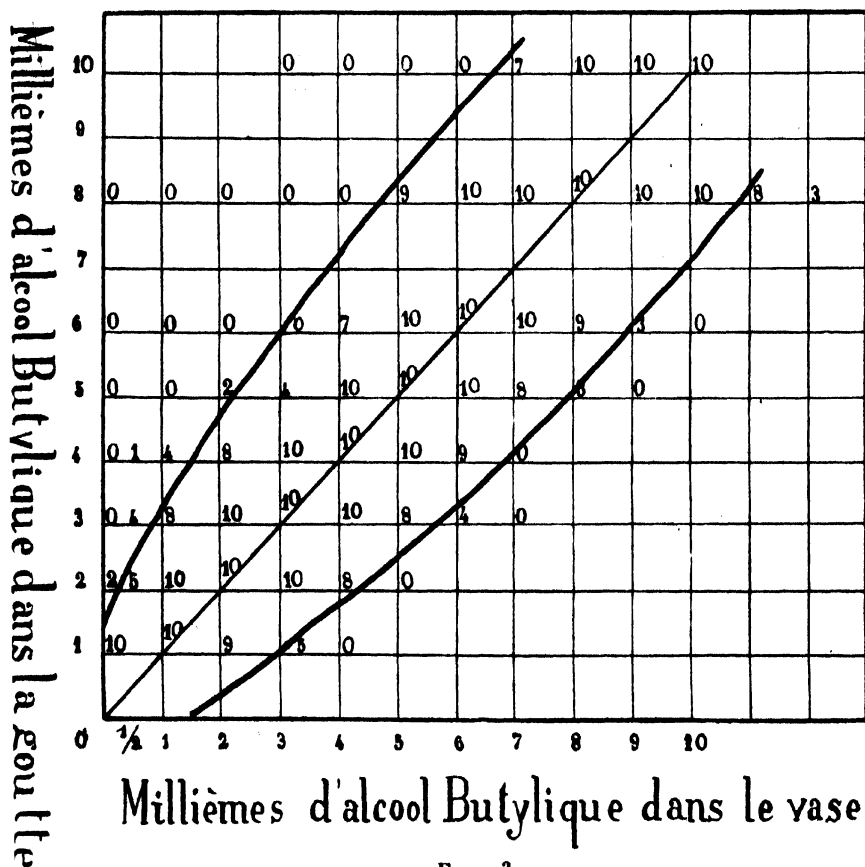


FIG. 13.

Je procédai comme il suit à cette vérification. Le dixième de centimètre cube d'alcool amylique correspondant à 6 gouttes, je fis mon réactif avec 18 gouttes d'alcool amylique dans 100<sup>cc</sup> d'eau-de-vie 20°,

pour étudier 10 liquides d'essai obtenus en introduisant (0, 1, 2, 3... 9) gouttes d'amylique dans 10 autres flacons à 100<sup>cc</sup> d'eau-de-vie 20°. Or, j'obtins ainsi, pour 10 gouttes tombées sur chacun de ces liquides,

## Dosage de l'Alcool Propylique en millièmes

dans l'Alcool vinique à 20°

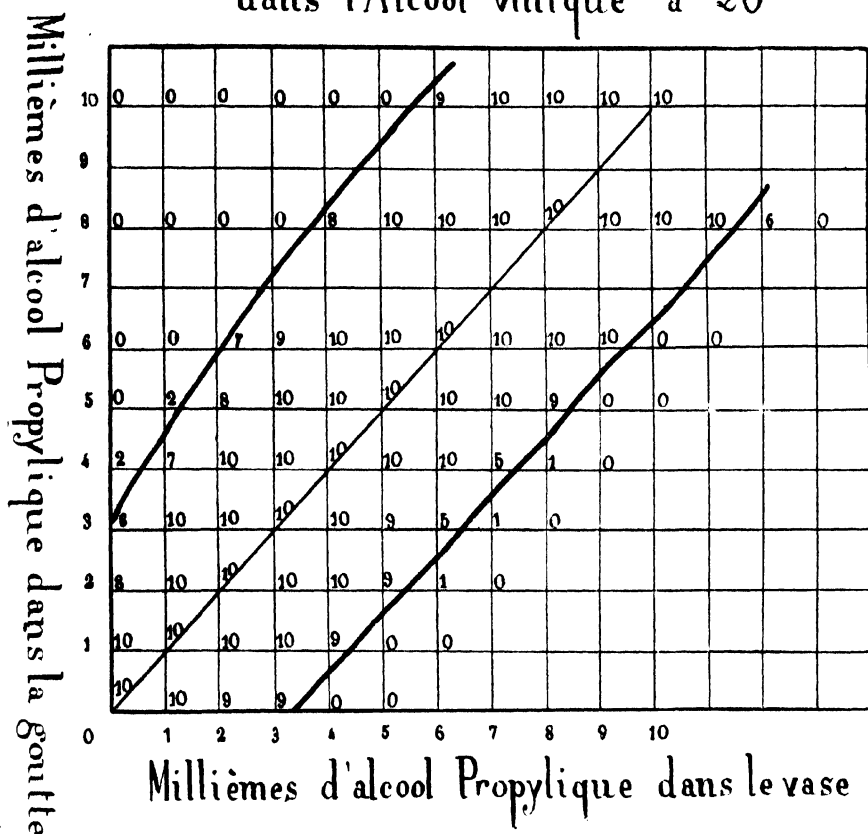


FIG. 14.

des nombres de roulements croissant comme les nombres de gouttes d'amylique introduites dans chaque flacon.

En particulier sur le liquide du flacon à 3 gouttes, qui contenait  $\frac{1}{3}$  millième, j'obtins 5 roulements, et sur celui du flacon à 6 gouttes j'obtins 9 roulements.



Ayant fait usage du même réactif pour doser l'alcool amylique dans les flegmes d'une distillerie de maïs, après les avoir étendus à 20°, j'obtins 5 roulements aussi, ce qui me fit admettre  $\frac{1}{2}$  millième de cette impureté, d'autant plus qu'en additionnant ce même flegme de 3 gouttes d'alcool amylique par 100° j'obtins les 10 roulements prévus.

Je crois donc que l'on peut vraiment, sans exagération, admettre la sensibilité du  $\frac{1}{4}$  de millième pour ces dosages ainsi effectués dans l'alcool à 20°.

Mais, si ce titre de 20° est obtenu par addition d'eau, cela ne nous donne guère encore que la sensibilité du millième, en rapportant les analyses à l'alcool à 90° ou 100°.

Si, au contraire, au lieu de quadrupler par de l'eau le volume de l'alcool étudié, nous arrivons d'une façon simple et sûre, par distillation de l'alcool vinique, à concentrer toutes ces huiles essentielles dans un volume réduit au  $\frac{1}{4}$  ou au  $\frac{1}{5}$  et à l'état d'alcool 20° exactement, ou tout au moins d'alcool de même degré que le réactif, cette transformation nous fait atteindre du coup la sensibilité du  $\frac{1}{20000}$ , qui, cette fois, permet d'aborder avec sûreté tous les problèmes concernant les alcools commerciaux.

C'est cette possibilité et toutes les conséquences heureuses qu'on en pourrait tirer que je voudrais mettre en lumière dans ma conclusion.

### VIII. — Conclusion.

Je crois qu'à l'heure actuelle, après les nombreuses controverses des hygiénistes, après les plus rares mais plus probantes déterminations des chimistes, la question de la nocivité des alcools commerciaux est plus sainement jugée qu'il y a quinze ans.

Autrefois, c'étaient les alcools industriels du Nord qui avaient à supporter tous les anathèmes des ligues contre l'alcoolisme, tandis que les eaux-de-vie naturelles : Cognac, Armagnac, Calvados, Marcs de Bourgogne, étaient réputées boissons inoffensives et même parfois préconisées comme excellents remèdes.

On sait, à n'en pas douter, aujourd'hui, que les alcools industriels bien rectifiés, les alcools neutres, qui forment évidemment la majeure partie des produits des distilleries du Nord, sont un mélange presque pur d'alcool vinique et d'eau, tandis que les eaux-de-vie naturelles

contiennent comme éléments de *leur bouquet* des traces d'aldéhydes, d'acides, de bases, de furfurol et d'autres impuretés inconnues, un terpène, a-t-on dit, puis des quantités plus notables d'éthers et surtout d'alcools supérieurs; l'alcool butylique dominerait dans le Cognac, d'après M. Ordonneau, tandis que ce serait l'alcool amylique, d'après MM. Morin et Claudon; l'alcool propylique se rencontrerait surtout dans le Calvados, et les eaux-de-vie de marc seraient plus impures que toutes les autres; bien entendu les eaux-de-vie fabriquées avec des alcools industriels mauvais goût de tête et surtout mauvais goût de queue et parfois avec des alcools régénérés après dénaturation dépassent toutes les autres en mauvaise qualité et peuvent être dangereuses; d'autre part, les alcools industriels neutres, n'ayant aucune saveur agréable, sont transformés, par les marchands, en imitations de Cognac, avec des sèves ou sauces qui, pour être inoffensives, n'en sont pas moins condamnables.

Le tableau suivant, emprunté au rapport Guillemet déjà mentionné, peut nous donner rapidement la physionomie des trois sortes d'alcools qu'il importerait de savoir facilement distinguer :

Bonnes eaux-de-vie naturelles, bons alcools industriels, alcools dangereux.

## TROIS TYPES D'ALCOOLS

*Composition en grammes par litre d'eau-de-vie.*

	COGNAC NATURE 1860	COGNAC FANTAISIE	ALCOOL DE BOUGE PARISIEN
Alcool . . . . .	48 <sup>0</sup> / <sub>5</sub>	44 <sup>0</sup> / <sub>7</sub>	26 <sup>0</sup> »
	gr	gr	gr
Cendres . . . . .	»	»	0,480
Acidité { en acide acétique . . .	0,6	0,072	0,144
» en acide sulfurique . .	»	»	0,117
Aldéhydes . . . . .	0,106	0,027	0,014
Furfurol . . . . .	0,006	0,001	0,0006
Alcools supérieurs . . . . .	0,8	0,1	2,97
Éthers . . . . .	0,42	0,14	1,19
Traces de formiates . . . . .	»	»	»
Caramel . . . . .	»	»	»
Matières âcres . . . . .	»	»	Quantité indéterminée.

Ainsi, le cognac fantaisie, qui est pourtant une falsification, ne se distingue pour le chimiste que par sa remarquable pureté; l'alcool malfaisant de bouge parisien ne se révèle lui-même que par sa dose triple d'alcools supérieurs et ses matières âcres indéterminées.

On se demande alors comment les chimistes officiels des Charentes peuvent protéger leur pays contre les imitations frauduleuses et constantes des savoureux produits de la grande et de la petite Champagne, des Borderies et des Bois à terroir.

Or, le directeur du laboratoire de Cognac, en exposant, dans son livre *Les Eaux-de-vie et la Fabrication du Cognac*, ses tableaux d'analyse (qui comportent les éléments suivants à déterminer : densité, déviation polarimétrique, réaction acide, coloration, acidité, alcool éthylique, glucose, saccharose, extractif, tannin, cendres, eau), fait la déclaration suivante qui m'a étonné :

« Du reste, le coefficient d'impureté d'une eau-de-vie n'a aucun intérêt commercial, puisqu'une eau-de-vie naturelle a un coefficient d'impureté cinq fois plus grand qu'une eau-de-vie fantaisie. »

Cet aveu d'impuissance a dû être pénible à un chimiste aussi compétent. Quel intérêt il y aurait donc à renverser complètement cette triste conclusion et à dire :

*Puisque les eaux-de-vie naturelles ont un coefficient d'impureté cinq fois plus grand que les eaux-de-vie fantaisie, c'est par leurs impuretés mêmes qu'il faut caractériser les premières.*

Heureusement, un autre chimiste des Charentes, M. Lusson, ancien directeur du Laboratoire municipal de La Rochelle, nous montre que cette conception du problème est logique et qu'elle a déjà été mise en œuvre dans la méthode plus ou moins discutée de M. Saglier.

« Le coefficient d'impureté de M. Saglier<sup>(1)</sup> doit être scindé en deux parties : 1° la somme des alcools supérieurs, éthers et furfurol d'une part, qui ne descend pas au-dessous d'un minimum aujourd'hui connu et qui indique la pureté de l'eau-de-vie; 2° les acides et aldéhydes qui donnent le coefficient d'oxydation caractérisant surtout l'état de vieillissement de l'eau-de-vie. Ce coefficient d'oxydation monte par la suroxydation artificielle bien au delà des limites entre lesquelles il se maintient pour les eaux-de-vie naturelles. »

A l'appui de cette manière de voir, M. Lusson donnait le tableau

(<sup>1</sup>) LUSSON, *Revue de Chimie analytique*, 6 mai 1897.

comparatif suivant, bien suggestif, où les impuretés sont dosées en centigrammes par litre d'alcool absolu :

	A Eau-de-Vie 1896 de Saintonge à 66°,2	B Coupage 66°,25 à $\frac{1}{6}$ d'alcool d'industrie	C Coupage 66°,64 à $\frac{2}{3}$ d'alcool d'industrie	D Alcool d'Industrie distillé avec vinasses
Acides (en acétique).	21,70	25,40	21,60	160,80
Aldéhydes (en aldé- hyde acétique)....	8,06	5,04	3,90	35,8
Furfurol.....	1,70	1,00	0,43	1,20
Ethers (en éther acétique).	151,50	80,10	83,20	153,00
Alcools supérieurs...	<b>200,40</b>	<b>173,30</b>	<b>45,00</b>	<b>57,30</b>
Coefficient d'impureté	383,6	284,84	154,13	408,10
Somme alcools-éthers	353,50	254,40	128,20	211,5
Coefficient d'oxydation..	8,40	10,60	16,00	48,00

» La somme alcools-éthers étant *au minimum* égale à 300 dans les eaux-de-vie pures et le coefficient d'oxydation ne dépassant pas 38, même pour les eaux-de-vie de cinquante ans, l'analyse ci-dessus indique au maximum 85 p. 100 d'eau-de-vie pure dans B et 40 p. 100 dans C. L'eau-de-vie D est tout à fait anormale. »

Ainsi, c'est bien *parce qu'elles n'ont pas une dose suffisante de certaines impuretés naturelles* caractéristiques, que, d'après la méthode Saglier, M. Lusson constatait le *degré d'impureté* des liquides qui étaient soumis à ses analyses.

C'est la seule voie rationnelle, il me semble, que l'on puisse suivre si l'on veut *caractériser les eaux-de-vie naturelles*.

Je veux faire simplement comprendre ici, en me basant sur les résultats personnels exposés dans ce mémoire, que la solution du problème est possible par l'homéotropie de cette façon et avec certains avantages inhérents à la méthode.

On remarquera une fois de plus, sur les tableaux de M. Lusson, que les *alcools supérieurs* se rencontrent dans les eaux-de-vie naturelles à plus grande dose que les autres impuretés, de 1 à 2 millièmes, dose que nous savons bien apprécier directement par homéotropie et dont nous pourrions mesurer même les vingtièmes en amenant par distillation dans le vide le titre à 20°.

La seule difficulté est de faire cette transformation avec certitude,

de bien savoir égaliser les titres des gouttes d'épreuve et du liquide d'essai.

Nous avons songé pour cela à deux moyens différents : le premier est d'opérer cette distillation dans des vases jaugés, identiques, en sorte que le titre du résidu soit une fonction de son volume, connue par un graphique; le deuxième est de *fabriquer les gouttes-réactifs avec le liquide d'essai lui-même*, en y ajoutant une dose convenable de l'impureté à révéler. Cette dose sera suffisante pour donner tous plongeurs si les deux liquides étaient primitivement dépouillés de l'impureté que la goutte alors contient seule; elle donnera roulements limite et roulements complets, si les deux liquides contenant préalablement la même impureté, celle de la goutte d'épreuve est simplement exagérée. Le succès de cet artifice tient à ce que les courbes d'analyse dans la région critique utile ont un coefficient angulaire plus grand que la bissectrice des axes, ainsi qu'on peut le constater sur les graphiques ci-dessus. D'après cela, une même addition naturelle d'impureté dans la goutte et dans le support les rapproche de l'homéotropie, d'autant plus que cette addition est plus grande.

On n'a donc plus à comparer dans ce procédé que deux liquides qui ne diffèrent absolument l'un de l'autre que par la dose critique, ajoutée à la goutte, de l'impureté spéciale qu'on recherche.

*Déjà, la somme et les rapports entre eux des divers alcools supérieurs pourraient peut-être fournir un élément utile de spécification; il en sera peut-être de même pour les éthers.*

Mais il ne faut pas oublier que les viticulteurs des Charentes tiennent énormément et à bon droit à ce que la chimie ne révèle pas les mystérieux éléments du *Bouquet* de leurs eaux-de-vie.

« Ce qui fait la supériorité des cognacs sur toutes les autres eaux-de-vie de vin connues, c'est leur bouquet, ce bouquet si sensible au palais et cependant si insaisissable jusqu'à présent à l'analyse chimique. C'est heureux pour nous, car si les chimistes savaient l'isoler, ils réussiraient certainement par la suite à le fabriquer ou à l'imiter de façon à nuire à nos intérêts<sup>(1)</sup>. »

Or, précisément le propre de l'homéotropie est de choisir comme réactif l'impureté même que l'on veut *reconnaître*, mais sans avoir

<sup>(1)</sup> Syndicat des viticulteurs des Charentes. *Rapport sur le classement des crus d'eaux-de-vie*. Grande imprimerie. Saintes, 1895.

besoin de la *connaître*, cette impureté pouvant être d'ailleurs soit une espèce chimique, soit un mélange d'espèces chimiques.

Nous pouvons donc prendre comme impureté-réactif le *bouquet des eaux-de-vie d'un cru donné*.

Mais il faut expliquer ce que nous entendrions par le terme *Bouquet*.

Ce *bouquet des dégustateurs*, en effet, on sait qu'il existe, qu'il ne peut dépendre que de l'ensemble ou d'une partie des substances que renferme chaque eau-de-vie d'un cru et d'un âge déterminé, abstraction faite de l'eau et de l'alcool vinique qui sont partout les mêmes et qui ne forment que l'abondant véhicule commun de ces éléments caractéristiques.

Donc, sans connaître et même sans isoler ce mystérieux bouquet, nous pouvons le concentrer (par élimination de l'eau et de l'alcool vinique) dans un très petit volume.

C'est cet ensemble des impuretés, spécial probablement à chaque cru et à chaque âge, qu'on pourrait appeler le *bouquet des chimistes* et qu'on pourrait, en le modifiant très peu qualitativement et quantitativement par une distillation convenable dans le vide, concentrer dans un volume très réduit. On opérerait, bien entendu, dans les conditions les plus favorables, mais toujours les mêmes, de réduction de volume, de pression et de température.

On aurait ainsi un bouquet chimique type, c'est-à-dire variant très peu pour le même cru, pour un même bouquet de dégustation, mais variant notablement pour des crus différents.

Il serait alors bien étonnant que nous ne rencontrions pas dans nos gouttes, chargées à dose exagérée quoique minime d'un bouquet de cognac par exemple, la double propriété qu'il nous faut pour une analyse homéotropique :

1<sup>o</sup> Plonger toujours dans l'Armagnac, le Calvados, les eaux-de-vie de Montpellier, le marc de Bourgogne et surtout dans les alcools d'industrie, tous liquides amenés au même degré;

2<sup>o</sup> Rouler au contraire à limite ou complètement sur les eaux-de-vie de même bouquet, c'est-à-dire de même pays et peut-être même uniquement sur les eaux-de-vie de même cru et de même âge.

Cette méthode ne mériterait pas, ainsi appliquée, le reproche que M. Arachequesne fait au procédé Saglier de devenir illusoire le jour où les fabricants d'imitations de cognac auront l'idée de mettre

dans les alcools industriels la dose voulue d'alcools supérieurs et d'éthers et de leur donner un coefficient d'oxydation convenable.

Le programme que je viens de tracer et que je vais suivre est légitimé par un grand nombre d'expériences déjà faites, mais il a le tort d'exiger encore un nombre incalculable d'essais délicats et rationnellement combinés sur des liquides qui coûtent cher et qui doivent être d'origine sûre et variée et même d'âges divers.

Ce travail qui me reste à faire ne peut plus être seulement celui d'un chercheur confiné dans son laboratoire; il exige le concours de beaucoup d'amis, confiants dans le succès final et désireux de l'assurer, soit par intérêt personnel ou régional, soit par haine de la fraude.

# SUR LA DISTILLATION DE LA GEMME

Par M. VÈZES

PROFESSEUR A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE BORDEAUX

---

La gemme est le produit brut que fournit l'exsudation des pins (pin maritime dans les Landes, pin à longues feuilles aux États-Unis, etc.), lorsque leur aubier a été mis à nu. A l'état brut, c'est un mélange pâteux d'un liquide volatil, l'essence de térébenthine, avec une matière solide, la colophane ou brai. Elle contient en outre de l'eau et diverses impuretés solides, que l'on peut séparer par une opération préalable, désignée dans les Landes par les noms de térébenthinage ou de préparation de la térébenthine. L'opération fondamentale que l'on effectue dans les usines de produits résineux consiste à séparer et à recueillir les deux constituants essentiels de la gemme brute ou de la gemme épurée (térébenthine), l'essence de térébenthine et la colophane.

Cette séparation s'effectue par distillation. L'essence de térébenthine française, provenant du pin maritime, bout à 158° environ sous la pression atmosphérique. La colophane fond vers 80°, mais elle ne commence à émettre de vapeurs en quantité notable que vers 180°; en même temps, elle commence à se décomposer en donnant des produits volatils (essence vive de résine, huile de résine); on peut donc la considérer comme pratiquement non volatile au-dessous de 180°. L'application à ces données des lois élémentaires de l'ébullition montre que la distillation de la gemme, effectuée sous la pression atmosphérique à une température voisine de 160°, devra permettre la séparation de ses constituants, l'essence se dégageant à l'état de vapeur et allant se condenser dans un récipient refroidi, tandis que la colophane restera dans l'alambic sous forme d'une masse fondue.

Or, l'expérience montre que la distillation ainsi conduite fournit des résultats très défectueux, à plusieurs points de vue.



En premier lieu, l'essence étant, des deux constituants de la gemme, celui qui a le plus de valeur, il importe que la distillation fournisse un rendement en essence aussi grand que possible; il importe aussi que cette essence soit marchande, c'est-à-dire aussi exempte que possible de produits pyrogénés (essence vive, huile de résine), qui lui communiqueraient une coloration brune et une odeur désagréable. Or, la distillation de la gemme, effectuée comme il vient d'être dit, ne fournit pas la totalité de l'essence que contient celle-ci, et qui peut en être extraite par les procédés plus perfectionnés qui seront décrits plus loin; en outre, contrairement à la théorie trop simple rappelée ci-dessus, elle est accompagnée d'une ascension progressive de la température: peu de temps après le début de l'opération, un thermomètre placé dans l'alambic, et plongeant dans la gemme, atteint et dépasse 180°, de telle sorte que la majeure partie de l'essence recueillie est fortement colorée en brun par des produits pyrogénés.

En second lieu, le résidu de la distillation a d'autant plus de valeur qu'il est moins coloré; les brais à peu près incolores, auxquels on réserve habituellement le nom de colophanes, se vendent à des prix qui atteignent et dépassent parfois le double du prix des brais communs. Or, la colophane se colore, sous l'action de la chaleur, au contact de l'oxygène de l'air; ce changement d'aspect est d'autant plus marqué que la colophane est portée à température plus haute, et qu'elle y est maintenue plus longtemps; il est déjà notable lorsqu'elle est maintenue à 180° pendant une heure. La distillation, effectuée comme il a été dit plus haut, se produit à des températures qui finissent par dépasser beaucoup 180°: elle donnera donc des produits secs fortement colorés et de peu de valeur.

Ainsi la distillation de la gemme par la simple action de la chaleur est nuisible à la fois à la quantité et à la qualité de l'essence, ainsi qu'à la qualité des produits secs: et ceci principalement à cause des températures trop élevées auxquelles elle se produit. Le problème fondamental que soulève l'étude de la distillation de la gemme se trouve donc ainsi posé: il faut trouver le moyen d'effectuer cette distillation à des températures aussi peu élevées que possible.

Depuis de longues années déjà, la pratique a fourni une solution simple de ce problème: c'est celle qui consiste à introduire de l'eau dans l'alambic, soit à l'état liquide, soit à l'état de vapeur. Ce procédé, universellement adopté par les fabricants de produits résineux lan.

dais, est généralement envisagé comme consistant dans un entraînement de la vapeur d'essence par la vapeur d'eau. On verra dans ce qui va suivre comment la Thermodynamique permet d'en donner une théorie<sup>(1)</sup> beaucoup plus rationnelle, et comment cette théorie rend compte des faits observés dans la pratique industrielle.

### I. — Ébullition de l'essence pure.

On sait que le point d'ébullition d'un liquide sous une certaine pression est la température à laquelle sa tension de vapeur saturée devient égale à cette pression.

L'étude du problème énoncé plus haut nous conduit donc à examiner tout d'abord comment varie, avec la température, la tension de vapeur saturée de l'essence de térébenthine. Nous possédons à cet égard toute une série de mesures dues à Regnault (*Mémoires de l'Acad. des Sciences*, 2<sup>e</sup> série, t. XXVI, p. 487; 1862). Elles ont été effectuées par la méthode dynamique, par la mesure du point d'ébullition de l'essence bouillant sous diverses pressions. Elles ont porté sur de l'essence de térébenthine provenant du pin maritime, à laquelle Regnault avait fait subir plusieurs rectifications préalables.

Ces mesures sont résumées dans le tableau suivant, où les températures  $t$  sont indiquées en degrés centigrades, et les pressions  $P$  en millimètres de mercure.

TEMPÉRATURE $t$	TENSION de VAPEUR SATURÉE $P$	TEMPÉRATURE $t$	TENSION de VAPEUR SATURÉE $P$
0°	2 mm	110°	186 <sup>mm</sup>
10	3	120	257
20	4	130	349
30	7	140	464
40	11	150	605
50	17	155	686
60	26	160	775
70	41	165	871
80	61	170	975
90	91	175	1090
100	131	180	1208

(<sup>1</sup>) Les points principaux de cette théorie ont déjà été exposés dans nos « Leçons sur les Résines », professées à la Faculté des Sciences de Bordeaux en 1899 et 1900 (leçons du 22 juin 1899, des 6, 13 et 20 juin 1900).

La courbe figurée ci-après (planche I, courbe I), où les températures sont comptées en abscisses et les pressions en ordonnées, représente graphiquement les nombres qui précèdent.

On peut aussi les représenter par une formule : si  $T$  est la température absolue ( $T = t + 273$ ) et  $P$  la tension de vapeur en millimètres de mercure, on démontre en Thermodynamique <sup>(1)</sup> que, pour un liquide volatil quelconque, la loi de variation de la tension de vapeur saturée avec la température s'exprime par une équation de la forme

$$(1) \quad \text{Log } P = \frac{M}{T} + N \log T + Z,$$

où le symbole  $\log$ . désigne un logarithme décimal ordinaire, et  $M, N, Z$  trois constantes caractéristiques du liquide volatil considéré.

Dans le cas de l'essence de térébenthine, cette formule représente, en effet, d'une façon suffisamment approximative le résultat des mesures de Regnault si l'on prend

$$M = - 2675$$

$$N = - 3,73$$

$$Z = + 18,88$$

De cette équation, comme de la courbe I qui lui correspond, on déduit aisément que le point d'ébullition, sous la pression atmosphérique normale de 760 millimètres, de l'essence étudiée par Regnault était de 159°.

On voit aussi qu'il sera possible d'abaisser la température d'ébullition de l'essence en distillant sous une pression inférieure à la pression atmosphérique, c'est-à-dire en opérant en vase clos, dans le vide ou tout au moins sous pression réduite. Par exemple, sous une pression de  $\frac{1}{2}$  atmosphère (380 millimètres de mercure), le point d'ébullition de l'essence est abaissé à 133° environ.

(1) Le lecteur désireux de se rendre compte des fondements thermodynamiques de cette théorie se reportera avec fruit à l'ouvrage récemment publié par notre savant collègue M. Duhem, sous le titre : *Thermodynamique et Chimie, Leçons élémentaires à l'usage des Chimistes*. Paris, Hermann, 1902.

Il verra ainsi que le système étudié dans ce premier paragraphe, formé d'un composant unique, l'essence, divisé en deux phases (essence liquide, essence en vapeur), est un système univariant dont la loi d'équilibre prend la forme d'une relation entre la pression et la température : c'est la relation (1).

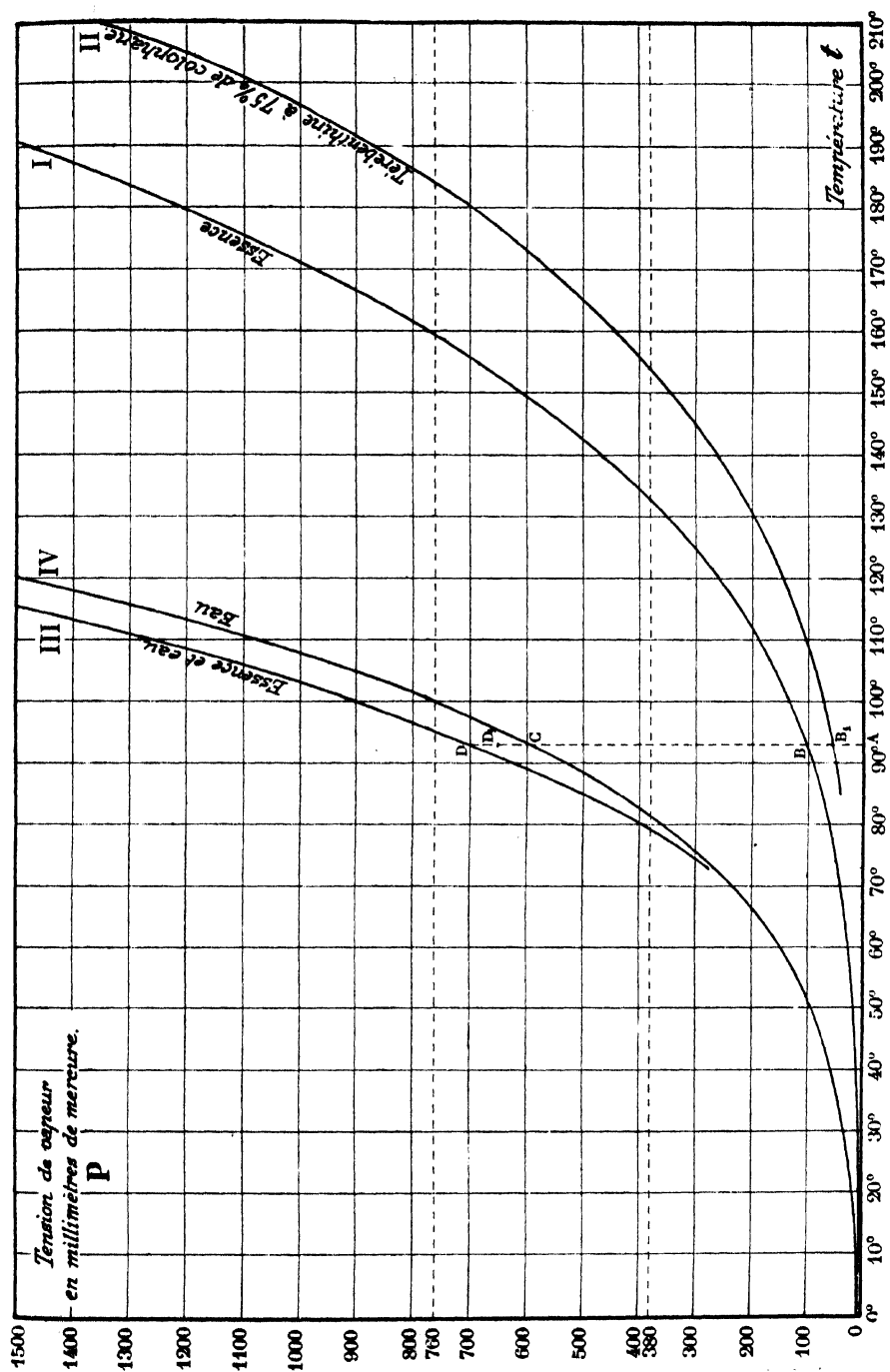


PLANCHE I.

## II. — Ébullition de la térébenthine.

Envisageons maintenant le cas où l'on porte à l'ébullition, non de l'essence pure, mais de l'essence mélangée de colophane, autrement dit de la térébenthine (de la gemme débarrassée d'eau et de matières solides). Nous admettrons, comme une première approximation qui se trouve suffisamment réalisée dans la pratique quand la température n'est pas trop élevée, que la colophane n'est ni volatile, ni altérable dans les conditions de l'expérience; nous admettrons aussi que la colophane forme avec l'essence une dissolution homogène, ce qui est pratiquement exact pourvu que la température ne soit pas trop basse (à partir de 80° environ pour les concentrations moyennes).

Dans ces conditions, la Thermodynamique <sup>(1)</sup> enseigne que, pour une dissolution de concentration déterminée, c'est-à-dire pour un échantillon de térébenthine dans lequel l'essence et la colophane soient dans un rapport déterminé, il existe, comme dans le cas précédent, une courbe des tensions de vapeur. Cette courbe peut encore être représentée par l'équation (1); elle a donc même forme que la courbe I; mais ses coefficients M, N, Z possèdent des valeurs différentes de celles indiquées au paragraphe précédent, de sorte qu'elle est différente de la courbe I. Elle se déplace quand la concentration de la dissolution varie, c'est-à-dire quand la térébenthine étudiée devient plus ou moins riche en colophane; en particulier, elle vient se confondre avec la courbe I quand la proportion de colophane devient égale à zéro, c'est-à-dire quand on arrive à l'essence pure. Par suite, nous pouvons conclure qu'une addition de colophane à l'essence pure a pour effet de déplacer sa courbe des tensions de vapeur, et de

<sup>(1)</sup> Le système considéré ici est formé de deux constituants indépendants (essence, colophane), divisés en deux phases (dissolution de colophane dans l'essence, vapeur d'essence) : c'est donc un système bivariant; entre les trois variables qui le caractérisent au point de vue thermodynamique (concentration de la dissolution, température, pression), il existe, au moment de l'équilibre, une relation. Cette relation est de la forme de la relation (1), mais ses coefficients M, N, Z dépendent de la concentration de la dissolution étudiée : c'est dire qu'à chaque concentration de la térébenthine correspondra une courbe de tension de vapeur.

la déplacer d'autant plus que la proportion de colophane ajoutée est plus forte.

Dans quel sens et suivant quelle loi s'effectuera ce déplacement? A cette question, la Thermodynamique répond, conformément aux indications depuis longtemps fournies par l'expérience, que la dissolution d'un corps non volatil dans un dissolvant volatil a pour effet d'abaisser la tension de vapeur de ce dernier. Cet abaissement va en croissant avec la concentration de la dissolution; il lui est sensiblement proportionnel, tant que la dissolution n'est pas trop concentrée.

A une température donnée, la tension de vapeur d'une térébenthine de concentration donnée sera donc inférieure à celle de l'essence pure : par suite, la courbe des tensions de vapeur de cette térébenthine sera située au-dessous et à droite de la courbe I; elle sera d'autant plus éloignée de la courbe I que la térébenthine en question sera plus riche en colophane.

Pour déterminer la loi suivant laquelle s'effectue ce déplacement, nous envisagerons, au lieu des tensions de vapeur pour lesquelles une vérification expérimentale serait d'une exécution malaisée, les points d'ébullition sous la pression atmosphérique. Leur valeur est fournie, pour une térébenthine de composition donnée comme pour l'essence pure, par l'abscisse du point de rencontre de la courbe des tensions de vapeur avec l'horizontale  $P = 760$ . Par suite, la térébenthine aura, sous la pression atmosphérique, un point d'ébullition supérieur à celui de l'essence pure; l'élévation du point d'ébullition qui résulte ainsi de l'addition de colophane à l'essence ira en croissant avec la proportion de colophane ajoutée. Enfin il serait facile de démontrer, en partant des faits énoncés plus haut relativement à l'abaissement de la tension de vapeur, que cette élévation est sensiblement proportionnelle à la concentration, tant que celle-ci est relativement faible.

Nous avons vérifié ces conclusions au moyen d'un appareil ébullioscopique analogue à l'appareil classique de Raoult, mais plus simple : la température du liquide bouillant sous la pression atmosphérique était mesurée au moyen d'un thermomètre gradué en cinquièmes de degré; les liquides employés ont été de l'essence de térébenthine landaise récemment rectifiée et des dissolutions de colophane dans cette essence à diverses concentrations. Dans chaque cas, la tempé-

rature  $t_p$  d'ébullition, observée sous une pression P peu différente de la pression normale de 760 millimètres, a été ramenée à cette pression normale au moyen de la formule de correction

$$t_{760} = t_p - 0.055 (P - 760)$$

qui représente, au voisinage de la pression normale, l'inclinaison de la courbe I des tensions de vapeur de l'essence de térébenthine. Les résultats obtenus ont été les suivants :

POIDS, EN GRAMMES, de colophane contenu dans 100 gr. de térébenthine C	PRESSION en millimètres de mercure P	POINT d'ébullition observé $t_p$	TEMPERATURE normale d'ébullition $t_{760}$	ELEVATION de la température normale d'ébullition θ
0,0	751	157,4	157,9	0
0,0	752	157,5	157,9	»
0,0	761	158,0	157,9	»
6,7	751	158,4	158,9	1,0
11,7	751	159,0	159,5	1,6
20,0	751	160,2	160,7	2,8
24,7	752	161,0	161,4	3,5
29,3	751	161,7	162,2	4,3
36,3	752	163,2	163,6	5,7
41,0	761	165,5	165,4	7,5
43,6	761	166,2	166,1	8,2
46,5	761	166,8	166,7	8,8
49,9	761	168,3	168,2	10,3
53,7	761	169,9	169,8	11,9
58,2	761	171,5	171,4	13,5
62,0	760	172,8	172,8	14,9
64,4	760	174,4	174,4	16,5
67,1	760	176,4	176,4	18,5
70,0	760	179,0	179,0	21,1
73,1	760	182,0	182,0	24,1
76,5	760	185,7	185,7	27,8

Les nombres qui précèdent sont représentés graphiquement par la courbe de la planche II, construite en prenant comme abscisses les températures normales d'ébullition  $t_{760}$  et comme ordonnées les valeurs C de la concentration (en grammes de colophane contenus dans 100 grammes de térébenthine). On voit que cette courbe, au moins

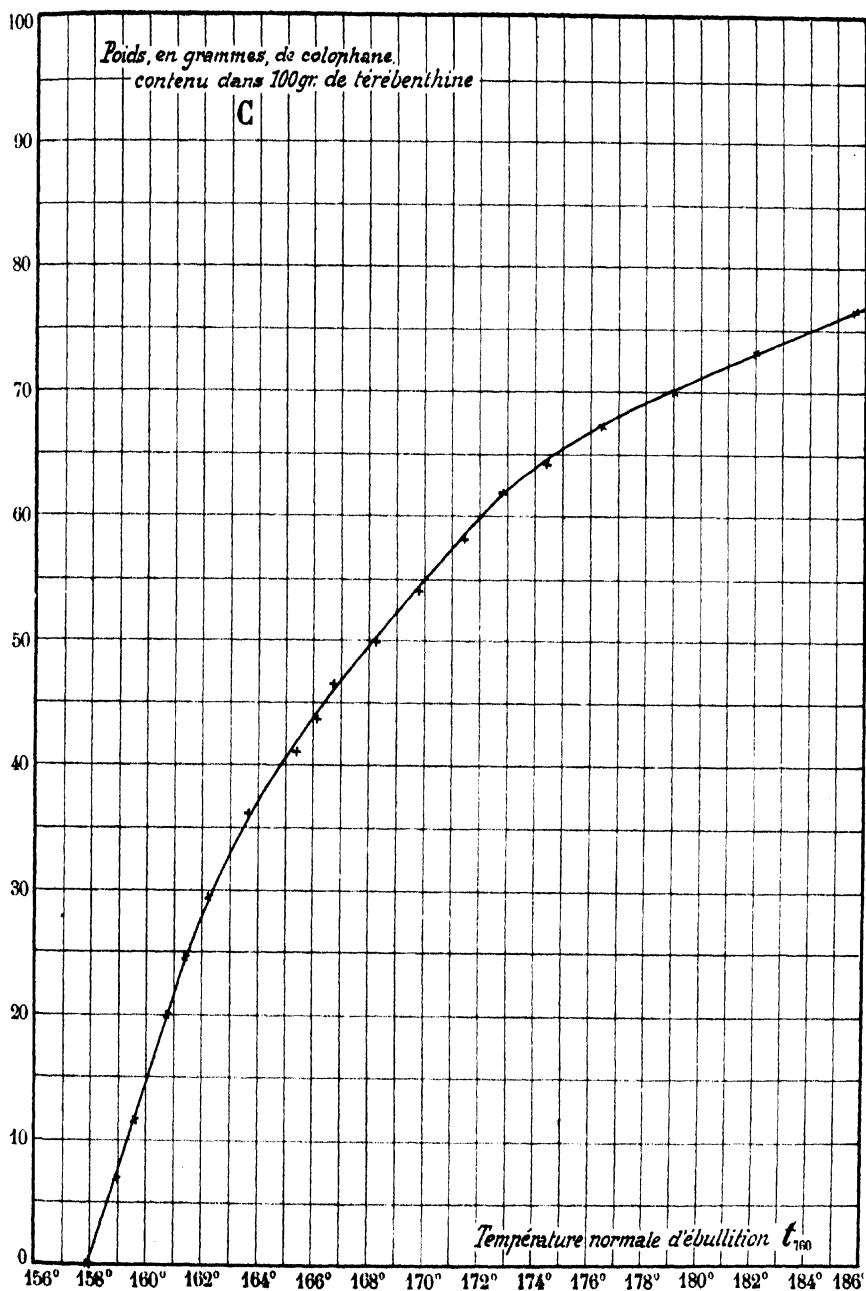


PLANCHE II.



dans sa première partie, est sensiblement rectiligne, ce qui justifie la loi énoncée plus haut; son inclinaison est telle qu'une térébenthine à 20 p. 100 de colophane présente, par rapport à l'essence pure, une élévation du point d'ébullition d'environ  $2^{\circ},8$ .

L'examen de cette courbe confirme, en les précisant, les indications fournies au début de ce travail sur les résultats défectueux que l'on obtiendrait en cherchant à séparer par simple distillation sous la pression atmosphérique les deux constituants de la térébenthine. Telle qu'elle s'obtient normalement à partir de la gemme brute du pin maritime, la térébenthine contient en moyenne 75 p. 100 de son poids de colophane et 25 p. 100 d'essence; portée à une température suffisante pour former une dissolution homogène, elle constitue donc une solution dont 100 grammes contiennent un poids  $C = 75$  grammes de colophane. Comme le montre la courbe de la planche II, à cette concentration correspond une élévation du point d'ébullition d'environ  $26^{\circ}$ ; cette térébenthine ne commencera donc à bouillir, sous la pression atmosphérique normale, qu'à une température de  $184^{\circ}$  environ, et non point vers  $160^{\circ}$ , comme le faisait prévoir la théorie trop simple énoncée plus haut. De plus, à mesure que l'ébullition se poursuivra, l'essence de térébenthine se dégagera à l'état de vapeur, la dissolution s'enrichira en colophane et, par suite, la température ira toujours en s'élevant. La distillation s'effectuera donc à température constamment trop élevée pour fournir de l'essence incolore et des produits secs peu colorés.

Comme dans le cas étudié au paragraphe précédent, l'emploi du vide ou tout au moins d'une pression inférieure à la pression atmosphérique permettrait de réaliser la distillation de la térébenthine à température moins élevée. Par exemple, sous une pression de  $\frac{1}{2}$  atmosphère (380 millimètres de mercure), une térébenthine normale, à 75 p. 100 de colophane, entrerait en ébullition à une température voisine de  $154^{\circ}$ , comme on peut s'en assurer en traçant approximativement la courbe des tensions de vapeur de cette térébenthine (Planche I, courbe II), sachant qu'elle est de même forme que la courbe I, qu'elle coupe l'axe des ordonnées en un point compris entre  $P = 0$  et  $P = 2$ , enfin qu'elle passe par le point d'abscisse  $t_{760} = 184^{\circ}$  et d'ordonnée  $P = 760$ . La température irait naturellement en s'élevant pendant toute la durée de la distillation, à partir de cette valeur initiale. Il résulte de là que l'emploi d'une pression réduite pour la

distillation de la térébenthine, outre qu'il exige des appareils compliqués, ne suffit pas pour abaisser autant qu'il le faudrait la température à laquelle s'effectue cette distillation.

### III. — Ébullition d'un mélange hétérogène d'essence et d'eau.

On arrive au contraire au résultat cherché, comme nous l'avons rappelé au début de ce travail, en introduisant de l'eau dans l'alambic. Pour exposer la théorie de ce procédé, examinons d'abord le cas simple où l'on porte à l'ébullition un mélange d'essence de térébenthine et d'eau.

On peut admettre que, à la température ordinaire, l'eau est pratiquement insoluble dans l'essence de térébenthine, et réciproquement. Un mélange de ces deux liquides se présente donc sous la forme de deux couches liquides superposées dans l'ordre des densités, une couche d'eau surmontée d'une couche d'essence. Ces deux liquides étant volatils, le mélange est surmonté d'une couche de vapeur mixte, formée de vapeur d'eau et de vapeur d'essence.

Cela étant, on démontre en Thermodynamique (1) que à chaque température  $t$  correspond une pression  $P$  qui assure l'équilibre d'un tel système, quelles que soient les proportions relatives de ses composants : comme dans le cas d'un liquide unique, on dira que cette température est le point d'ébullition du mélange sous la pression  $P$ .

Autrement dit, il existe pour un tel mélange, comme pour l'essence pure, une courbe des tensions de vapeur saturée. Regnault (*loc. cit.*, p. 731) en a déterminé quelques points par la méthode

(1) Le système que nous étudions ici est formé de deux constituants indépendants (essence, eau), répartis en trois phases (eau liquide, essence liquide, vapeur mixte). C'est donc un système univariant, comme celui dont nous avons fait l'étude au paragraphe I. Sa loi d'équilibre sera la même : elle s'exprimera par une relation entre la pression et la température, relation indépendante des masses en présence, et dont la forme sera encore celle de l'équation (1), avec des valeurs particulières pour les coefficients  $M$ ,  $N$ ,  $Z$ . Autrement dit, un mélange d'eau et d'essence (sous la condition qu'il donne lieu à trois phases distinctes, c'est-à-dire qu'il comporte deux couches liquides) possède une tension de vapeur, ne dépendant que de la température, donnant lieu à une courbe analogue à la courbe I, et indépendante de la composition du mélange.

dynamique indiquée plus haut, et au moyen de la même essence. Ses résultats sont résumés dans le tableau suivant, que nous avons déduit de ses données originales en supprimant les décimales inutiles (nous nous bornons, pour les pressions, à l'approximation d'un millimètre de mercure, et pour les températures à celle d'un dixième de degré), et en rassemblant en un nombre unique toutes les données qui concordent à ce degré de précision.

PRESSION	TEMPÉRATURE de la VAPEUR MIXTE	TEMPÉRATURE du MÉLANGE LIQUIDE	NOMBRE de LECTURES
185 <sup>mm</sup>	66,1*	71,6	2
186	69,9	73,4	1
186	71,1	73,4	3
232	75,4	77,1	2
232	75,9	77,9	1
232	76,3	78,0	1
232	76,5	77,9	2
291	81,8	83,0	4
349	77,6*	83,0	1
365	86,0	87,4	2
414	88,1	89,5	2
416	85,4	89,0	1
418	88,6	90,3	1
420	90,1	92,4	1
514	94,4	96,5	2
741	99,1	101,5	2
751	94,8*	97,0	1
754	99,5	101,8	1
754	100,4	101,6	2
1334	112,3*	114,2	1
1631	119,0*	120,3	1
2121	127,7	128,4	1
2141	126,5*	127,5	1
2554	132,2*	133,4	1

On voit que ces données sont fort peu concordantes : à une même pression correspondent, pour un même mélange d'eau et d'essence, des températures pouvant différer entre elles de plusieurs degrés. Ces divergences paraissent devoir s'expliquer par ce fait qu'il est très difficile de réaliser un état d'équilibre dans un mélange hétérogène d'essence et d'eau en ébullition, si l'on ne prend pas de précautions

particulières pour éviter les surchauffes ; les différences notables observées à un même instant entre la température du mélange liquide et celle de la vapeur sont un indice de l'existence de ces surchauffes.

Si, portant les températures en abscisses et les pressions en ordonnées, on trace les divers points correspondants aux nombres qui figurent dans le tableau précédent, on verra que ces points, au lieu de pouvoir être reliés par une courbe unique, paraissent se rattacher à deux courbes distinctes. L'une de ces courbes comprend un certain nombre de points correspondant à des mesures de température faites dans la vapeur (ce sont les mesures dont les résultats sont marqués d'un \* dans le tableau précédent). L'autre courbe constitue plutôt une bande dont la largeur, dans sa partie inférieure, atteint environ trois degrés ; elle comprend, à part un très petit nombre de points isolés qui ne se rattachent ni à l'une ni à l'autre des deux courbes, toutes les autres déterminations, aussi bien celles faites dans la vapeur que celles faites dans le liquide. Cette seconde courbe est située à droite et au-dessous de la précédente ; elle correspond donc, à pression égale, à des températures plus élevées. Cela étant, il paraît légitime de considérer les points de cette seconde courbe comme affectés de l'erreur due aux surchauffes signalée ci-dessus, et d'envisager la première courbe comme représentant mieux la tension de vapeur des mélanges en équilibre. C'est cette première courbe qui se trouve figurée dans la planche I (courbe III).

Cette courbe, construite de la même façon et à la même échelle que les courbes I et II, présente une forme tout à fait analogue. On pourrait la représenter, elle aussi, par l'équation (1), mais en attribuant aux coefficients M, N, Z, des valeurs particulières, différentes de celles indiquées dans les cas qui précèdent.

Enfin, on peut remarquer que, ainsi qu'on l'observe habituellement pour des mélanges de deux liquides insolubles l'un dans l'autre, la tension de vapeur du mélange à une température donnée est à peu près égale à la somme des tensions de vapeur de l'eau et de l'essence, envisagées isolément à la même température. La vérification de cette loi se trouve résumée dans le tableau suivant, où sont indiquées, à diverses températures, la tension de vapeur de l'eau (d'après Regnault, *Mémoires de l'Académie des Sciences*, 2<sup>e</sup> série, t. XXI, p. 624 ; 1847), celle de l'essence (d'après le tableau donné plus haut), leur somme, et la tension de vapeur du mélange hétérogène d'essence et d'eau,

déduite par interpolation, au moyen de la courbe III, du tableau précédent.

TEMPERATURE	TENSION DE VAPEUR		LEUR SOMME	TENSION DE VAPEUR du mélange
	DE L'EAU	DE L'ESSENCE		
70°	233mm	41mm	274mm	230mm
80	354	61	415	390
90	525	91	616	620
100	760	131	891	900
110	1075	186	1261	1240
120	1491	257	1748	1710
130	2030	349	2379	2390

De là résulte un moyen très simple de construire graphiquement la courbe III, une fois tracées la courbe I des tensions de vapeur de l'essence et la courbe IV qui représente de même les tensions de vapeur de l'eau (d'après Regnault, *loc. cit.*). A une température donnée, correspondant au point A de l'axe des abscisses, on prolongera l'ordonnée AC de la courbe IV d'une longueur CD, égale à l'ordonnée correspondante AB de la courbe I; le point D, ainsi obtenu, sera le point correspondant de la courbe III.

D'après ce qui précède, on voit que la courbe III des tensions de vapeur du mélange hétérogène d'essence et d'eau est située au-dessus et à gauche de la courbe I, correspondant à l'essence pure, et même de la courbe IV relative à l'eau pure; par suite, le point d'ébullition, sous la pression atmosphérique, de ce mélange sera inférieur à celui de l'essence pure et même à celui de l'eau pure, c'est-à-dire à 100°. On trouve en effet, en déterminant le point de rencontre de la courbe III avec l'horizontale  $P = 760$ , que le point d'ébullition, sous la pression atmosphérique, du mélange étudié par Regnault était de 95° environ.

La thermodynamique nous a donc permis de prévoir approximativement la valeur du point d'ébullition d'un mélange hétérogène d'essence et d'eau sous la pression atmosphérique; elle va nous permettre aussi de prévoir la composition du produit distillé qui résulte de cette opération. Elle enseigne en effet <sup>(1)</sup> que, lorsqu'un

(1) Dans un système univariant, la composition des phases est déterminée au moment de l'équilibre, si l'on se donne soit la température, soit la pression.

tel mélange bout sous une pression déterminée, et par conséquent à une température déterminée, la composition de la vapeur mixte, qui se trouve en équilibre avec le mélange liquide, a une valeur déterminée, indépendante de la composition de ce mélange liquide. Par conséquent, des mélanges en diverses proportions d'eau et d'essence, pourvu qu'ils forment deux couches liquides distinctes, donnent par ébullition, sous la pression atmosphérique, une vapeur dans laquelle l'eau et l'essence sont dans un rapport constant.

Enfin, la valeur de ce rapport peut être, au moins approximativement, prévue au moyen de la règle suivante : les tensions partielles des deux vapeurs dans la vapeur mixte sont entre elles comme les tensions de vapeur des deux liquides envisagés seuls à la même température.

Appliquons cette règle aux résultats de Regnault : à 95°, point d'ébullition des mélanges hétérogènes d'essence et d'eau sous la pression atmosphérique, les tensions de vapeur des deux liquides sont respectivement 111 millimètres et 634 millimètres de mercure. Ces nombres sont entre eux comme 1 et 6 environ ; les tensions partielles des deux vapeurs dans la vapeur mixte sont donc entre elles comme 1 et 6.

Par suite, un litre de la vapeur mixte à 95° est formé de un litre de vapeur d'essence à 95° et sous la pression de  $\frac{1}{7}$  d'atmosphère, et de un litre de vapeur d'eau à 95° et sous la pression de  $\frac{6}{7}$  d'atmosphère. Ramenons ces deux masses gazeuses à la pression atmosphérique sans modifier leur température : l'application de la loi de Mariotte montre que nous obtiendrons ainsi  $\frac{1}{7}$  de litre de vapeur d'essence et  $\frac{6}{7}$  de litre de vapeur d'eau. La vapeur mixte est donc formée de vapeur d'essence et de vapeur d'eau dont les volumes, mesurés à la même température et à la même pression, sont entre eux comme 1 et 6. Par suite, elle contient une molécule d'essence pour six molécules d'eau<sup>(1)</sup>.

Le poids moléculaire de l'essence étant  $C^{10}H^{16} = 136$ , et celui de l'eau  $H^2O = 18$ , le rapport pondéral des deux vapeurs dans la vapeur mixte sera sensiblement représenté par

$$\frac{136}{6 \times 18} = \frac{136}{108},$$

(<sup>1</sup>) Ce calcul suppose que les densités de vapeur de l'eau et de l'essence ne présentent point d'anomalie à 95°, ce qui est pratiquement exact.

soit environ  $\frac{5}{4}$ . Neuf grammes de la vapeur mixte (et par suite du produit distillé) doivent contenir 5 grammes d'essence et 4 grammes d'eau.

Au lieu de déterminer le poids des liquides condensés, il est plus simple de mesurer leur volume. Transformons donc le résultat précédent de manière à déterminer le rapport des volumes d'essence liquide et d'eau liquide recueillis au sortir au serpentín. Le rapport des densités des deux liquides étant d'environ 0,87, le rapport volumétrique cherché a pour valeur

$$\frac{136}{108} \cdot \frac{1}{0,87} = \frac{136}{94}$$

soit  $\frac{3}{2}$ . Dix centimètres cubes du mélange liquide recueillis au sortir du serpentín doivent contenir 6 centimètres cubes d'essence et 4 centimètres cubes d'eau.

En résumé, l'étude théorique de l'ébullition d'un mélange hétérogène d'essence et d'eau conduit aux conclusions suivantes : Quelle que soit la composition du mélange, — pourvu qu'il soit hétérogène, c'est-à-dire formé de deux couches liquides distinctes, — son ébullition se produit, sous la pression atmosphérique, à une température constante, voisine de 95°; elle fournit, pour 10 centimètres cubes de liquide condensé, environ 6 centimètres cubes d'essence et 4 centimètres cubes d'eau.

Ces résultats de la théorie se trouvent sensiblement vérifiés par l'expérience, comme le montrent les essais (1) ci après relatés. Ils ont été effectués dans un vase en verre protégé contre le refroidissement par une épaisse couche de feutre; dans ce vase, d'une capacité totale de 500 centimètres cubes environ, étaient versés 300 centimètres cubes d'un mélange en diverses proportions d'essence rectifiée et d'eau; enfin, dans ce mélange était immergée une spirale de fil de platine de 0<sup>mm</sup> 2 d'épaisseur, de 80 centimètres de longueur, et de 4,5 ohms, de résistance électrique. Cette spirale, parcourue par un courant constant d'environ 4,7 ampères, constituait une source de chaleur suffisante pour entretenir le mélange en ébullition régulière. Un thermomètre plongeant dans le vase un peu au-dessus du niveau

(1) Ces essais ont été faits en janvier 1900 avec le concours de M. Mouline.

du liquide indiquait à chaque instant la température de la vapeur ; enfin, le vase communiquait par sa partie supérieure avec un réfrigérant à l'extrémité duquel les liquides condensés étaient recueillis dans des éprouvettes graduées de 10 centimètres cubes ; chacune d'elles étant remplie jusqu'au trait limitant les 10 centimètres cubes, on laissait reposer quelques instants son contenu, pour permettre aux deux couches liquides de se séparer nettement, et on lisait sur la graduation de l'éprouvette les volumes des deux couches.

Trois expériences ont été faites, portant sur des mélanges de composition différente :

1<sup>o</sup> Mélange à volumes égaux d'essence et d'eau.

Essence, 150 centimètres cubes ; eau, 150 centimètres cubes ; total, 300 centimètres cubes, dont 200 centimètres cubes ont été distillés en 35 minutes, et recueillis par fractions de 10 centimètres cubes chacune. Pression : 777 millimètres de mercure.

Pendant ces 35 minutes, la température de la vapeur mixte, mesurée peu au-dessus de la surface du liquide bouillant, a oscillé entre 96°0 et 96°3 ; moyenne, 96°15.

La quantité d'essence contenue dans chacune des 20 fractions recueillies a oscillé entre 5,1 centimètres cubes et 6,0 centimètres cubes ; moyenne, 5,65 centimètres cubes.

2<sup>o</sup> Mélange avec excès d'eau.

Essence, 75 centimètres cubes ; eau, 225 centimètres cubes ; total 300 centimètres cubes, dont 80 centimètres cubes ont été distillés en 16 minutes, et recueillis par fractions de 10 centimètres cubes chacune. Pression : 768 millimètres de mercure.

Pendant ces 16 minutes, la température de la vapeur a oscillé entre 96°1 et 96°3 ; moyenne, 96°2.

La quantité d'essence contenue dans chacune des 8 fractions recueillies a oscillé entre 5,2 centimètres cubes et 5,6 centimètres cubes ; moyenne, 5,42 centimètres cubes.

3<sup>o</sup> Mélange avec excès d'essence.

Essence, 225 centimètres cubes ; eau, 75 centimètres cubes ; total, 300 centimètres cubes, dont 150 centimètres cubes ont été distillés en 27 minutes et recueillis par fractions de 10 centimètres cubes chacune. Pression : 775 millimètres de mercure.

Pendant ces 27 minutes, la température de la vapeur a oscillé entre 96°1 et 96°4 ; moyenne, 96°2.



La quantité d'essence contenue dans chacune des 15 fractions recueillies a oscillé entre 5,7 centimètres cubes et 6,5 centimètres cubes; moyenne, 6,04 centimètres cubes.

On voit que, des deux conclusions auxquelles nous avait conduit la théorie, la première (constance du point d'ébullition) se trouve bien vérifiée par la quasi-identité des trois températures moyennes observées; la seconde (constance de composition du liquide condensé) n'est vérifiée qu'approximativement, la proportion d'essence que contient ce liquide croissant légèrement (de 54,2 à 60,4 p. 100) lorsque la proportion d'essence contenue dans le mélange initial varie de 25 à 75 p. 100.

#### IV. — Ébullition de l'essence en présence de vapeur d'eau.

Nous avons, dans tout ce qui précède, supposé que le mélange d'essence et d'eau soumis à la distillation est hétérogène, c'est-à-dire divisé en deux couches distinctes, l'une d'eau, l'autre d'essence; autrement dit, la composition du mélange initial est telle, qu'aucun des deux liquides mélangés ne soit en grand excès par rapport à l'autre.

Il peut arriver que cette condition ne soit point remplie, et que le mélange étudié contienne, soit une faible quantité d'eau mélangée à beaucoup d'essence, soit une faible quantité d'essence mélangée à beaucoup d'eau. Lorsqu'on porte le mélange à l'ébullition sous la pression atmosphérique, toute l'eau, dans le premier cas, ou toute l'essence, dans le second, passe à l'état de vapeur, et le liquide n'est plus formé que d'essence pure ou d'eau pure. On a alors, dans un cas comme dans l'autre, une vapeur mixte surmontant un liquide homogène.

Examinons d'abord le premier cas, c'est-à-dire l'ébullition de l'essence en présence d'une quantité d'eau trop faible pour former une couche liquide distincte, de telle sorte que toute l'eau ajoutée à l'essence est à l'état de vapeur. L'étude théorique d'un tel système (<sup>1</sup>)

(<sup>1</sup>) Ce système est formé de deux constituants indépendants (essence, eau) divisés en deux phases (essence liquide, vapeur mixte). C'est donc un système bivariant, dont la loi d'équilibre sera la même que celle du système étudié au paragraphe II : à chaque composition de la phase à composition variable (qui est ici la vapeur mixte) correspond une courbe des tensions de vapeur.

montre que, pour une composition donnée de la vapeur mixte (définie par le rapport des tensions qu'y possèdent l'essence et l'eau), il existe une courbe des tensions de vapeur, de même forme que les courbes I, II, III, IV, mais différente de chacune d'elles, et se déplaçant quand la composition de la vapeur varie. Les limites de ce déplacement sont définies : d'une part, par le cas où la proportion de l'eau dans la vapeur est maxima, c'est-à-dire le cas où l'on fait bouillir un mélange hétérogène d'essence et d'eau : c'est le cas étudié au paragraphe précédent, de sorte que la courbe des tensions de vapeur est alors la courbe III ; d'autre part, par le cas où la proportion de l'eau dans la vapeur est nulle, c'est-à-dire le cas où l'on fait bouillir de l'essence pure : c'est le cas étudié au paragraphe I, de sorte que la courbe des tensions de vapeur est alors la courbe I.

En résumé, lorsque la vapeur mixte s'appauvrit en vapeur d'eau, la courbe des tensions de vapeur se déplace de la courbe III à la courbe I. Le point d'ébullition sous la pression atmosphérique va donc en croissant depuis 95° jusqu'à 159° ; à chaque composition de la vapeur mixte (ou, ce qui revient à peu près au même, du liquide condensé, variant de 60 p. 100 d'essence à 100 p. 100 d'essence) correspond une valeur particulière de ce point d'ébullition. Le cas que nous étudions ici constitue donc, en quelque sorte, le raccordement des deux cas étudiés aux paragraphes III et I.

Il se trouvera expérimentalement réalisé toutes les fois que l'on fera bouillir un mélange de beaucoup d'essence avec peu d'eau, à partir du moment où la couche liquide aqueuse disparaît : c'est ce qui s'est produit, par exemple, à la fin de l'expérience 3 du paragraphe précédent, où l'on a vu, à partir de la 28<sup>e</sup> minute, la température s'élever progressivement, en moins de dix minutes, de 96° jusqu'au delà de 150°, tandis que la proportion d'essence dans le liquide condensé allait en augmentant. Malheureusement, la rapidité avec laquelle se produit cette ascension du thermomètre, et par suite la variation de composition de la vapeur, n'a pas permis d'effectuer, en ce qui concerne cette composition, de déterminations précises, car l'examen de 10 centimètres cubes de liquide condensé ne peut renseigner que sur l'état moyen de la vapeur pendant les deux ou trois minutes que dure la récolte de cet échantillon, et par suite ne peut être employé avec fruit que pour l'étude de vapeurs dont la composition reste constante ou varie d'une façon très lente.

## V. — Ébullition de l'eau en présence de vapeur d'essence.

Le cas où l'on fait bouillir de l'eau mélangée à une quantité d'essence assez petite pour qu'elle soit tout entière à l'état de vapeur, est tout à fait comparable au précédent, et par suite ne mérite pas de nous retenir longtemps : ici encore, à chaque composition de la vapeur mixte correspond une courbe des tensions de vapeur, qui se déplace quand cette composition varie. Ce déplacement est limité : d'une part, par le cas où la proportion d'essence dans la vapeur est maxima, c'est-à-dire le cas où l'on fait bouillir un mélange hétérogène d'essence et d'eau : c'est le cas étudié au paragraphe III, de sorte que la courbe des tensions de vapeur est alors la courbe III ; d'autre part, par le cas où cette proportion est nulle, c'est-à-dire le cas où l'on fait bouillir de l'eau pure : la courbe des tensions de vapeur est alors la courbe IV.

Par conséquent, lorsque la vapeur mixte s'appauvrit en essence, la courbe des tensions de vapeur se déplace de la courbe III à la courbe IV, et le point d'ébullition sous la pression atmosphérique se déplace de 95° à 100°.

Ce cas se trouve expérimentalement réalisé toutes les fois que l'on fait bouillir un mélange d'un excès d'eau avec peu d'essence, à partir du moment où disparaît la couche d'essence liquide : c'est ce qui s'est produit, par exemple, à la fin de l'expérience 2 du paragraphe III, où l'on a vu la température, après la 16<sup>e</sup> minute, s'élever progressivement de 96° jusqu'à près de 100°, pendant que la proportion d'essence contenue dans le liquide condensé tendait vers zéro. Dans cette expérience, l'ascension du thermomètre a duré 20 minutes ; la variation de composition de la vapeur a été assez lente pour que l'inconvénient signalé plus haut ne se reproduise pas, et que l'étude du liquide condensé donne, pour la teneur en essence, des nombres assez régulièrement décroissants. On les trouvera dans le tableau suivant, qui représente l'ensemble de l'expérience 2 (période à température constante et période à température variable).

EXPÉRIENCE 2 — PRESSION : 768 <sup>mm</sup>		MÉLANGE INITIAL : $\left. \begin{array}{l} \text{ESSENCE. } 75^{\circ\circ} \\ \text{EAU. .... } 225^{\circ\circ} \end{array} \right\} 300^{\circ\circ}$		
TEMPS (en minutes, à partir du début de la distillation)	TEMPÉRATURE de la Vapeur	COMPOSITION DU LIQUIDE CONDENSÉ		
		Volume recueilli	Eau	Essence
0 minute	96,0	∞	∞	∞
2 —	—	10	4,7	5,3
5 —	—	10	4,7	5,3
7 —	—	10	4,4	5,6
9 —	—	10	4,4	5,6
11 —	96,2	10	4,4	5,6
12 —	—	10	4,5	5,5
14 —	96,3	10	4,6	5,4
16 —	—	10	4,8	5,2
18 —	97,0	10	5,0	5,0
21 —	97,5	10	5,3	4,7
23 —	98,0	10	5,5	4,5
25 —	98,5	10	6,1	3,9
27 —	98,8	10	6,8	3,2
31 —	99,0	10	6,8	3,2
34 —	99,3	10	7,2	2,8
37 —	99,8	10	8,8	1,2

Moyenne : 5,42

## VI. — Ébullition d'un mélange hétérogène de térébenthine et d'eau.

Après avoir, dans les trois paragraphes qui précèdent, étudié la distillation des mélanges d'essence et d'eau, nous arrivons maintenant au cas plus compliqué où, à ces deux corps, vient s'ajouter une troisième substance : la colophane. Ce cas sera celui où l'on fait bouillir un mélange d'eau et de térébenthine : nous continuerons à admettre, au sujet de la nature de ce mélange, les hypothèses, sensiblement vérifiées dans la pratique, que nous avons énoncées au début des paragraphes II et III.

La gemme ne diffère de la térébenthine que par la présence d'eau et d'impuretés solides : ces dernières pouvant être considérées comme

sans influence sur les phénomènes que nous étudions, au moins tant que la température n'est pas trop élevée, le cas actuel se trouvera également réalisé dans l'ébullition de la gemme, soit seule, soit mélangée d'un excès d'eau.

Nous supposerons tout d'abord que l'eau existe dans le mélange en quantité suffisante pour que, au point d'ébullition, elle soit encore en partie à l'état liquide, de telle sorte que le mélange comporte deux couches liquides distinctes : nous excluons donc provisoirement le cas où l'on fait bouillir une gemme assez pauvre en eau pour que celle-ci se trouve tout entière à l'état de vapeur.

Cela étant, on démontre en Thermodynamique <sup>(1)</sup> que si l'on emploie, à l'état de mélange avec de l'eau, une térébenthine de composition déterminée (c'est-à-dire dans laquelle l'essence et la colophane soient dans un rapport déterminé), à chaque température  $t$  correspond une pression  $P$  qui assure l'équilibre du système, quelles que soient les proportions relatives de térébenthine et d'eau qu'il contient. Bien que ce mélange émette une vapeur mixte formée de vapeur d'essence et de vapeur d'eau, on donnera encore à cette pression  $P$  le nom de tension de vapeur saturée du mélange à la température  $t$ .

Réciproquement, pour le même mélange, à chaque pression  $P$  correspond une température  $t$  qui assure l'équilibre, quelles que soient les proportions relatives de térébenthine et d'eau qu'il contient : comme dans le cas d'un liquide unique, on dira que cette température est le point d'ébullition du mélange sous la pression  $P$ .

Autrement dit, il existe pour un tel mélange, comme pour un liquide unique, une courbe des tensions de vapeur saturée. Cette

(<sup>1</sup>) Le système étudié dans ce paragraphe est formé de trois composants (essence, colophane, eau), divisés en trois phases (eau liquide, dissolution de colophane dans l'essence, vapeur mixte d'essence et d'eau). C'est donc un système bivariant, comme ceux étudiés aux paragraphes II, IV et V. Entre les quatre variables qui le caractérisent au point de vue thermodynamique (concentration de la dissolution, composition de la vapeur mixte, température, pression), il existe, au moment de l'équilibre, deux relations, de telle sorte qu'il suffit de se donner les valeurs de deux de ces variables pour que les valeurs des deux autres qui assurent l'équilibre se trouvent déterminées. En particulier, si l'on se donne la concentration de la dissolution et la pression, l'équilibre ne pourra s'établir qu'à une température déterminée, et la vapeur mixte aura alors une composition déterminée. Il existera donc une courbe des tensions de vapeur pour chaque composition de la dissolution, et à chaque point de chacune de ces courbes correspondra, pour la composition de la vapeur mixte, une valeur déterminée.

courbe peut encore être représentée par l'équation (1); elle a donc même forme que les courbes de la planche I : mais ses coefficients M, N, Z possèdent des valeurs qui varient avec la composition de la térébenthine employée. Elle se déplace donc quand la composition de cette térébenthine varie, c'est-à-dire quand cette térébenthine devient plus ou moins riche en colophane.

Examinons en particulier le cas où la proportion de colophane dans la térébenthine employée devient égale à zéro : le mélange soumis à l'ébullition est alors un mélange hétérogène d'essence pure et d'eau, c'est-à-dire le mélange étudié au paragraphe III, dont la courbe des tensions de vapeur est la courbe III. Nous pouvons donc conclure qu'une addition de colophane à un mélange hétérogène d'essence et d'eau a pour effet de déplacer la courbe III des tensions de vapeur de ce mélange, et de la déplacer d'autant plus que la proportion de colophane ajoutée est plus forte.

Le sens de ce déplacement sera évidemment le même que celui que subit la courbe I des tensions de vapeur de l'essence pure, quand on dissout de la colophane dans cette essence, c'est-à-dire que la courbe des tensions de vapeur des mélanges hétérogènes de térébenthine et d'eau sera située au-dessous et à droite de la courbe III, et en sera d'autant plus éloignée que la térébenthine employée sera plus riche en colophane.

Enfin ce déplacement sera limité par le cas où la térébenthine employée contiendra une proportion nulle d'essence, c'est-à-dire sera formée uniquement de colophane. Dans ce cas, le mélange bouillant sera formé d'eau liquide mélangée de colophane fondue, et surmontée de vapeur d'eau pure, puisque la colophane n'est pas volatile à 100° sous la pression atmosphérique. La courbe des tensions de vapeur d'un tel système sera la courbe relative à l'eau pure, c'est-à-dire la courbe IV.

En résumé, lorsqu'on fait varier la composition de la térébenthine, de l'essence pure à la colophane pure, la courbe des tensions de vapeur d'un mélange hétérogène de cette térébenthine et d'eau se déplace, partant de la courbe III pour aboutir à la courbe IV.

Il en résulte évidemment que le point d'ébullition de ce mélange sous la pression atmosphérique se déplace depuis 95° (pour l'échantillon d'essence employé par Regnault) jusqu'à 100°.

Remarquons, en outre, que le procédé indiqué au paragraphe III pour la construction graphique de la courbe III au moyen des courbes I et IV doit être également applicable au cas actuel.

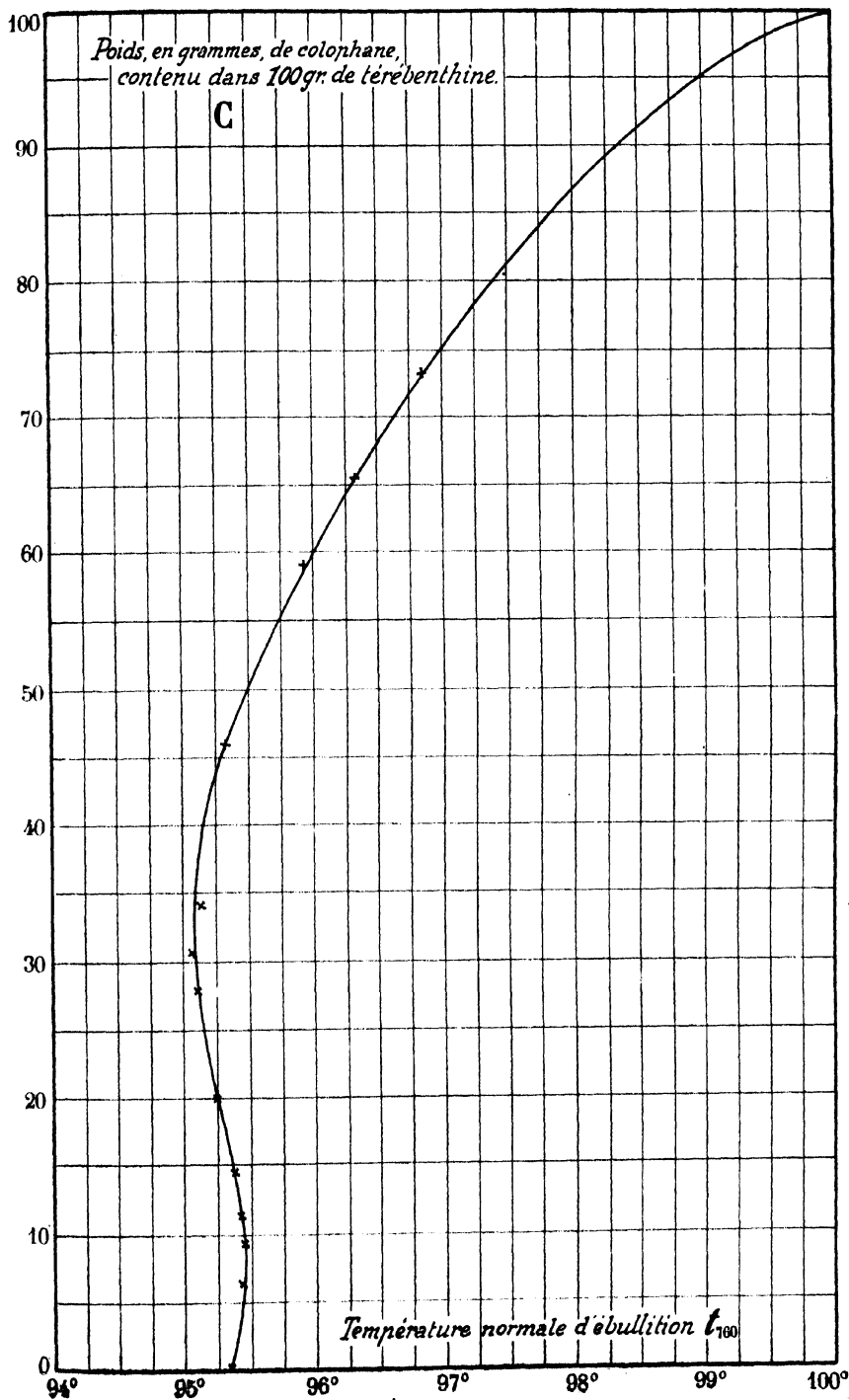
Si l'on connaît la courbe des tensions de vapeur d'une térébenthine de composition donnée, comme par exemple la courbe II, relative à la térébenthine à 75 p. 100 de colophane, on construira la courbe des tensions de vapeur d'un mélange hétérogène de cette térébenthine et d'eau, en prolongeant chaque ordonnée AC de la courbe IV d'une longueur CD, égale à l'ordonnée correspondante AB, de la courbe II.

Comme contrôle de la théorie ci-dessus, nous avons déterminé, par la méthode ébullioscopique indiquée au paragraphe II, les points d'ébullition sous la pression atmosphérique de mélanges hétérogènes de térébenthine et d'eau, en faisant varier la composition de la térébenthine. La variation du point d'ébullition étant ici beaucoup plus faible que dans le cas étudié au paragraphe II, nous avons employé, pour déterminer la température de la vapeur mixte, un thermomètre gradué en vingtièmes de degré. Dans chaque cas, la température  $t_P$  d'ébullition, observée sous une pression P peu différente de la pression normale de 760 millimètres, a été ramenée à cette pression normale au moyen de la formule de correction

$$t_{760} = t_P - 0^{\circ}033 (P - 760)$$

qui représente, au voisinage de la pression normale, l'inclinaison de la courbe III des tensions de vapeur des mélanges hétérogènes d'essence et d'eau. Les résultats obtenus sont rassemblés dans le tableau suivant :

POIDS, en grammes, de colophane contenu dans 100 grammes de térébenthine C	PRESSIION en millimètres de mercure P	POINT d'ébullition observé $t_P$	TEMPÉRATURE normale d'ébullition $t_{760}$
gr. 0,0	767 mm	95,60	95,37
0,0	773	95,75	95,32
6,1	767	95,65	95,42
9,4	773	95,89	95,46
11,4	773	95,85	95,42
14,5	773	95,81	95,38
19,9	772	95,65	95,25
27,6	763	95,20	95,10
30,6	763	95,17	95,07
34,2	763	95,25	95,15
46,0	765	95,50	95,33
59,2	765	96,10	95,93
65,5	765	96,50	96,33
73,2	765	97,00	96,83





Les nombres qui précèdent sont représentés graphiquement par la courbe de la planche III, construite en prenant comme abscisses les températures normales d'ébullition  $t_{760}$  et comme ordonnées les valeurs  $C$  de la concentration (en grammes de colophane contenus dans 100 grammes de térébenthine). Cette courbe, qui, d'après les prévisions théoriques qui précèdent, devrait monter de gauche à droite, ne présente nettement cette direction que pour des concentrations notables (térébenthine à plus de 40 p. 100 de colophane) : la portion de courbe relative aux concentrations faibles présente une allure anormale, avec un maximum ( $C = 8$ ) et un minimum ( $C = 32$ ) de la température normale d'ébullition. Cette anomalie peut n'être qu'apparente, et provenir de la difficulté, déjà signalée au paragraphe III, qu'il y a à réaliser l'équilibre d'un mélange liquide hétérogène en ébullition ; elle peut aussi être réelle, et dénote dans ce cas que la théorie exposée ci-dessus, suffisante pour une première approximation, est trop simple pour expliquer dans toute leur complexité les faits observés. Des recherches ultérieures permettront sans doute d'élucider ce point délicat.

Dans tout ce qui précède, nous ne nous sommes point occupé de la composition de la vapeur mixte qui surmonte le mélange bouillant. A son égard, la Thermodynamique nous enseigne <sup>(1)</sup> que, lorsqu'un mélange hétérogène d'eau et d'une térébenthine de composition déterminée bout sous une pression déterminée, et par suite à une température déterminée, la composition de la vapeur mixte, qui se trouve en équilibre avec le mélange liquide, possède une valeur déterminée, indépendante des proportions relatives d'eau et de térébenthine contenues dans le mélange. Cette composition devra être donnée approximativement par la règle déjà indiquée au paragraphe III : les tensions partielles des deux vapeurs dans la vapeur mixte seront entre elles comme les tensions de vapeur de l'eau et de la térébenthine considérée, envisagées seules à la même température.

Il résulte de là que, lorsque la composition de la térébenthine employée varie depuis l'essence pure jusqu'à la colophane pure, la composition de la vapeur mixte obtenue par l'ébullition de son mélange avec de l'eau (sous la pression atmosphérique normale) variera depuis la composition limite définie au paragraphe III jusqu'à la vapeur d'eau

(1) Voir la note précédente.

pure. Autrement dit, si l'on détermine le volume d'essence liquide contenu dans 10 centimètres cubes du mélange liquide recueilli au sortir du serpentín, on trouvera des nombres variant de 6 centimètres cubes à 0 centimètre cube, lorsque la proportion de colophane dans la térébenthine variera de 0 p. 100 à 100 p. 100, ou, ce qui revient à peu près au même, lorsque la température du mélange bouillant (sous la pression atmosphérique) variera de 95° à 100°.

Ce résultat de la théorie se trouve vérifié par l'essai suivant<sup>(1)</sup>, effectué par une méthode analogue à celle décrite au paragraphe III, et dans lequel on a soumis à la distillation, sous la pression atmosphérique, un mélange hétérogène de 100 grammes de térébenthine (contenant initialement environ 75 p. 100 de colophane) et 50 grammes d'eau.

TEMPÉRATURE de LA VAPEUR	COMPOSITION DU LIQUIDE CONDENSÉ		
	VOLUME RECUEILLI	EAU	ESSENCE
97,0	10 <sup>cc</sup>	5,4	4,6
97,5	10	6,0	4,0
98,0	10	6,5	3,5
98,5	10	7,1	2,9
99,0	10	8,2	1,8

## VII. — Ébullition de la térébenthine en présence de vapeur d'eau.

Reprenons maintenant le cas, exclu au début du paragraphe VI, où l'on porte à l'ébullition de la térébenthine mélangée d'une quantité d'eau assez faible pour se trouver tout entière à l'état de vapeur. Le système ainsi défini est alors constitué par une vapeur mixte (essence et eau) surmontant un liquide homogène (dissolution de colophane dans l'essence). L'étude théorique d'un tel système<sup>(2)</sup> montre que,

<sup>(1)</sup> Ces essais ont été faits en juin 1899 avec le concours de M. Labatut.

<sup>(2)</sup> Ce système est formé de trois constituants indépendants (essence, eau, colophane), divisés en deux phases : c'est donc un système trivariant. Entre les quatre variables qui le caractérisent au point de vue thermodynamique (concentration de la

pour une composition donnée de la vapeur mixte (définie par le rapport des tensions qu'y possèdent l'essence et l'eau) et une composition donnée de la couche liquide (définie par le rapport des poids de colophane et d'essence qu'elle contient), il existe une courbe des tensions de vapeur, de même forme que les courbes I, II, III, IV de la planche I, mais différente de chacune d'elles, et se déplaçant quand ces compositions varient.

Pour nous rendre compte de l'allure et des limites de ce déplacement, faisons varier séparément chacune des deux compositions variables. Supposons d'abord que la couche liquide ait une composition déterminée (que ce soit par exemple une térébenthine à 75 p. 100 de colophane, comme celle dont il a déjà été question au paragraphe II), et que nous la portions à l'ébullition en présence de quantités variables de vapeur d'eau (1). A chaque composition de la vapeur mixte obtenue correspondra une courbe des tensions de vapeur, de sorte que l'on peut dire que le système possède une courbe de tension de vapeur qui se déplace quand on fait varier la proportion d'eau que contient cette vapeur. Les limites de ce déplacement sont définies : d'une part, par le cas où la proportion de l'eau dans la vapeur est maxima, c'est-à-dire le cas où l'on fait bouillir un mélange hétérogène de térébenthine à 75 p. 100 de colophane et d'eau : c'est le cas étudié au paragraphe précédent, de sorte que la courbe des tensions de vapeur est alors une courbe comprise entre la courbe III et la courbe IV (planche I), coupant à  $97^{\circ}$  l'horizontale  $P = 760$ , comme le montre la courbe de la planche III ; — d'autre part, par le cas où la proportion de l'eau dans la vapeur est nulle, c'est-à-dire le cas où l'on fait bouillir de la térébenthine pure : c'est le cas étudié au paragraphe II, de sorte que la courbe des tensions de vapeur est alors la courbe II (planche I), coupant à  $184^{\circ}$  l'horizontale  $P = 760$ .

En résumé, lorsque, pendant l'ébullition d'une térébenthine à

dissolution, concentration de la vapeur, température, pression), il existe, au moment de l'équilibre, une relation. Cette relation est de la forme de la relation (1), mais ses coefficients M, N, Z dépendent de la concentration de la dissolution et de la concentration de la vapeur ; à chaque système de valeurs de ces deux concentrations correspond une courbe des tensions de vapeur.

(1) Nous supposons, dans ce raisonnement, la masse de la couche liquide très grande par rapport à celle de la vapeur mixte, de telle sorte que la quantité de vapeur d'essence que contient celle-ci n'ait pas d'influence sensible sur la composition de la couche liquide.

75 p. 100 de colophane, la vapeur mixte s'appauvrit en vapeur d'eau, le point d'ébullition sous la pression atmosphérique va en s'élevant depuis  $97^{\circ}$  jusqu'à  $184^{\circ}$ . A chaque valeur de ce point d'ébullition correspond une composition particulière de la vapeur mixte, ou, ce qui revient à peu près au même, du liquide condensé : celle-ci variant, comme il résulte des données inscrites au tableau qui termine le paragraphe précédent, de 46 p. 100 d'essence (quand  $t_{760} = 97^{\circ}$ ) à 100 p. 100 d'essence (quand  $t_{760} = 184^{\circ}$ ). Le cas que nous étudions ici constitue donc en quelque sorte le raccordement des deux cas étudiés aux paragraphes II et VI.

Supposons maintenant que nous fassions varier la composition de la couche liquide de 0 p. 100 de colophane à 100 p. 100 de colophane. Pour chaque valeur particulière de cette composition, le raisonnement sera semblable à celui que nous venons de faire pour une térébenthine à 75 p. 100 de colophane : en faisant varier la proportion de vapeur d'eau contenue dans la vapeur mixte, nous déplacerons la courbe des tensions de vapeur du système. Celle-ci partira d'une position comprise entre les courbes III et IV (planche I) pour aboutir à une position située à droite de la courbe I : le point d'ébullition du système sous la pression atmosphérique sera d'autant plus élevé que la vapeur mixte sera plus pauvre en eau, et la couche liquide plus pauvre en essence.

### VIII. — Conclusion.

Comme nous avons déjà eu l'occasion de le faire remarquer (voir paragraphe VI), la théorie qui vient d'être exposée ne saurait avoir la prétention de rendre compte, d'une façon entièrement adéquate, des faits que l'on peut observer dans la distillation de la gemme en présence de l'eau. Elle repose, en effet, sur des hypothèses simplificatrices qui ne lui permettent de donner qu'une image approchée de la réalité, de sorte qu'elle demandera à être complétée et perfectionnée le jour où l'expérience aura établi dans quelle mesure exacte ces hypothèses doivent être considérées comme vérifiées. Voici, dans cet ordre d'idées, quelques observations que nous citerons comme étant de

nature à servir de point de départ pour des recherches ultérieures.

Nous avons admis, entre autres hypothèses, que l'eau et l'essence de térébenthine sont insolubles l'une dans l'autre, et qu'il en est encore de même si l'essence tient en dissolution de la colophane. Il se pourrait que ces deux hypothèses ne fussent point complètement exactes, surtout lorsqu'on s'écarte de la température ordinaire. Tous les distillateurs de produits résineux savent, en effet, que, lorsqu'on distille un mélange d'essence et d'eau, le produit recueilli, après refroidissement et repos, est constitué par une couche d'eau limpide, surmontée d'une couche d'essence opaline; il y aurait lieu de rechercher si cette opalescence, qui ne disparaît qu'après quelques jours de repos, ne résulterait pas de la mise en liberté, sous forme très divisée, d'un peu d'eau dissoute par l'essence à température plus élevée. Il est à noter aussi — et cette observation concorde avec l'explication qui précède — que le résidu de cette distillation, tandis qu'il est encore chaud, est formé d'une couche d'eau opaline, surmontée d'un couche d'essence limpide; après refroidissement, cette dernière devient opaline à son tour.

Si, d'autre part, on fait bouillir pendant deux heures, au réfrigérant ascendant, un mélange en quantités égales d'eau et d'essence rectifiée, ou encore d'eau et de térébenthine à 10 p. 100 de colophane, et que l'on compare ensuite l'eau qui a subi ces essais avec l'eau primitive, on constate que cette eau a subi une altération qui se manifeste par un accroissement de densité, d'indice de réfraction et d'acidité. L'accroissement de densité et surtout l'accroissement d'acidité sont notablement plus forts dans le cas de la térébenthine que dans le cas de l'essence rectifiée; voici, en effet, les nombres observés :

	DENSITÉ à 23°	INDICE de réfraction à 22°	ACIDITÉ en centimèt. cubes de potasse demi-normale pour 100 cent. cubes
Eau distillée primitive . . . . .	0,9976	1,3331	0,0
La même, après deux heures d'ébullition			
avec { de l'essence rectifiée . . .	0,9984	1,3395	0,4
{ de la térébenthine . . . . .	0,9963	1,3390	1,2

Il paraît légitime de conclure de ces faits que l'eau et l'essence, et surtout l'eau et la térébenthine, ne sont pas sans action l'une sur l'autre au voisinage de 100°.

A ce point de vue comme à plusieurs autres, la théorie qui vient d'être exposée n'est donc pas absolument rigoureuse. Elle est néanmoins assez approchée pour rendre un compte suffisant des phénomènes qui se passent dans les alambics industriels. Dans ces appareils, on observe en effet, suivant les circonstances, l'un ou l'autre des deux cas étudiés aux paragraphes VI et VII.

1° Quand la quantité d'eau introduite dans l'alambic (ou préexistant dans la gemme) est assez forte pour qu'une partie de cette eau reste à l'état liquide (c'est ce qui a généralement lieu au début de l'opération, notamment quand on distille à cru des gemmes riches en eau), la distillation s'effectue à température peu élevée: un thermomètre plongé dans la vapeur marquerait de 97° à 100°, le thermomètre qui se trouve, en fait, immergé dans le liquide bouillant indique quelques degrés de plus, mais sans s'écarter beaucoup de 100°. Le produit distillé est plus riche en eau qu'en essence: il contient au maximum 46 p. 100 d'essence, la térébenthine étant supposée contenir au début de l'opération 75 p. 100 de colophane. La distillation, fournissant ainsi plus d'eau que d'essence, sera lente et nécessitera une forte dépense de combustible, car il faudra vaporiser toute cette eau, et l'on sait que l'eau possède une chaleur latente de vaporisation considérable<sup>(1)</sup>.

2° Lorsque la quantité d'eau introduite dans l'alambic (ou préexistant dans la gemme) est assez faible pour se trouver tout entière à l'état de vapeur (c'est ce qui a lieu pendant la majeure partie de l'opération), la distillation s'effectue à température supérieure à 100° et variable, à la fois, avec la proportion d'eau que contient la vapeur et avec la proportion d'essence que contient la gemme. Cette température est d'autant plus élevée que la vapeur est moins riche en eau; il sera donc nécessaire, pour empêcher l'ascension du

(1) A 100°, la chaleur latente de vaporisation de l'eau est de 536 calories; à la même température, celle de l'essence de térébenthine, facile à calculer en partant des données expérimentales de Regnault (*Mém. de l'Acad. des Sciences*, 2<sup>e</sup> série, t. XXVI, pp. 272 et 866; 1862), n'est que de 67 calories. Il faut donc, dans les conditions où nous supposons la distillation réalisée, dépenser huit fois plus de combustible pour vaporiser un kilogramme d'eau que pour vaporiser un kilogramme d'essence.

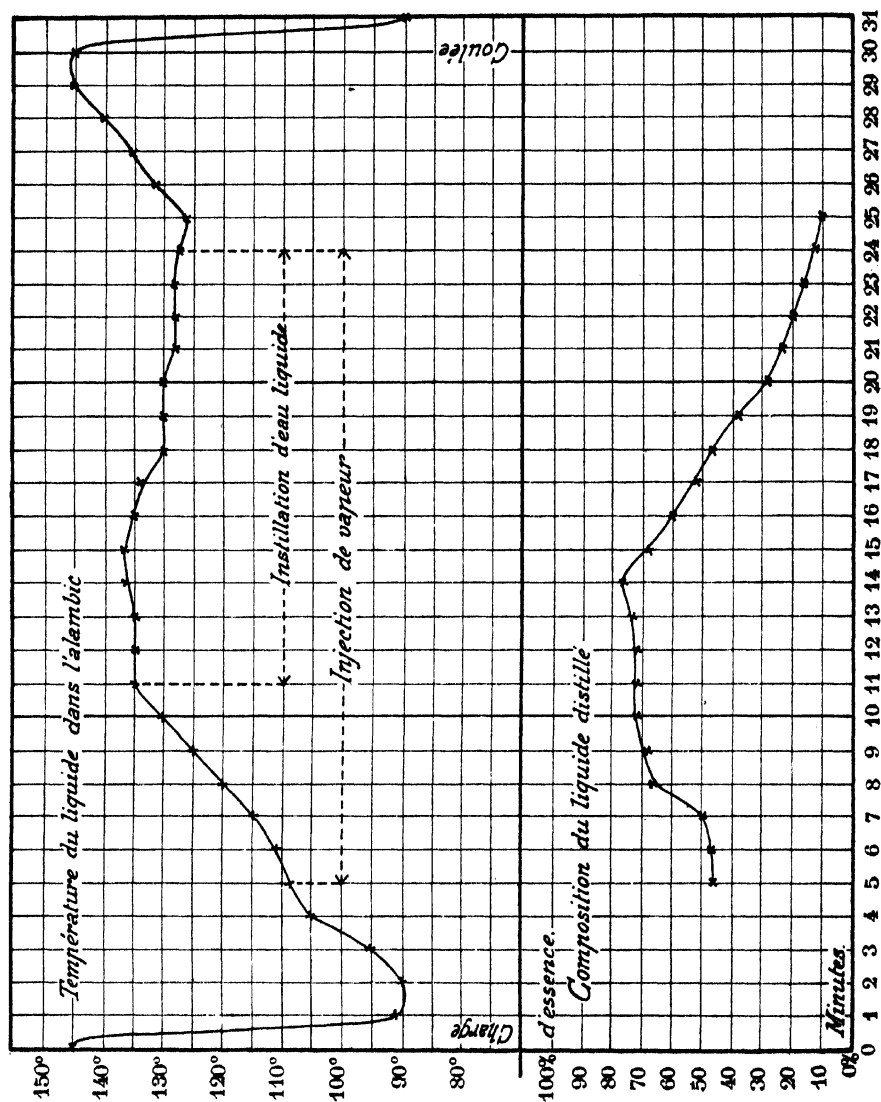
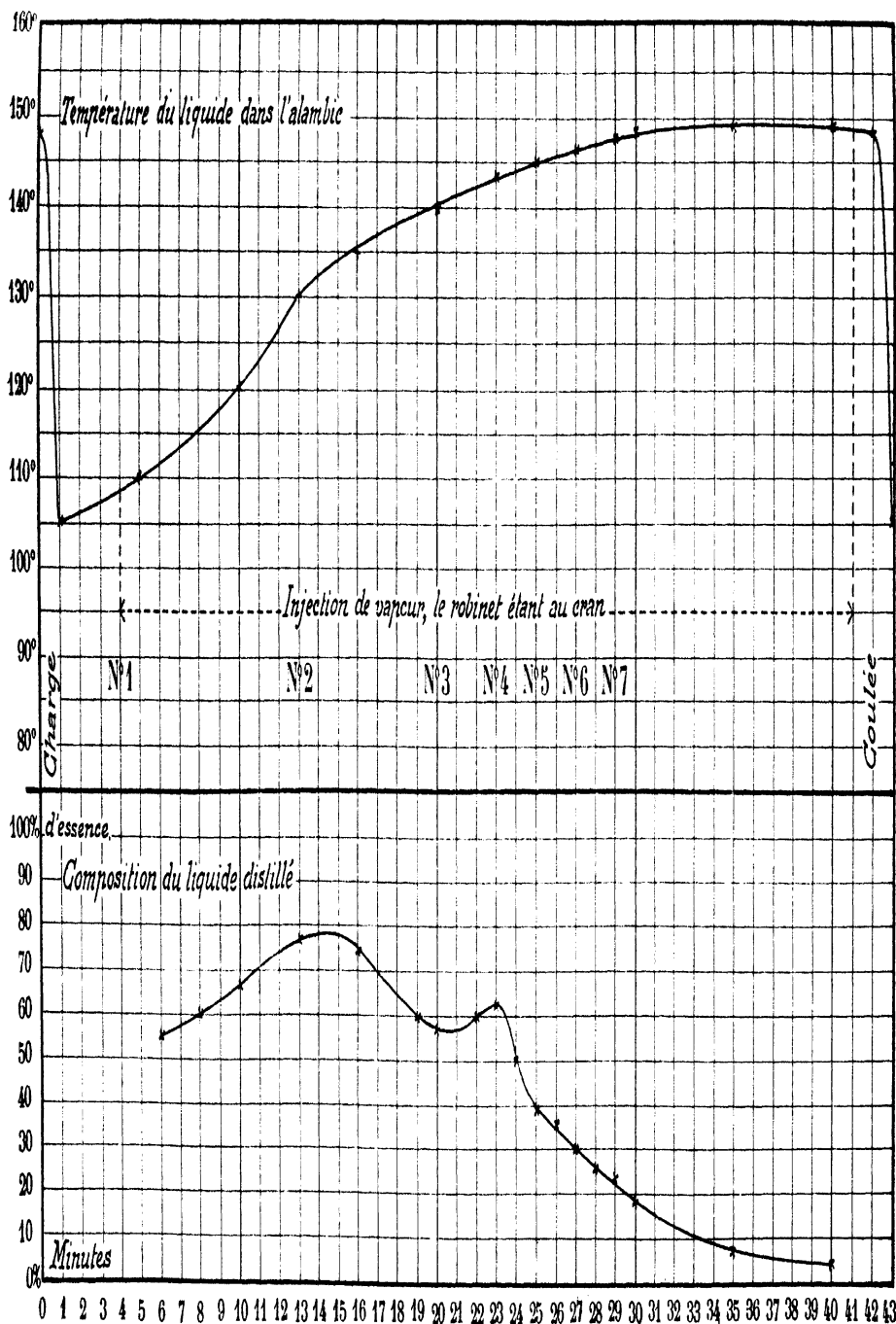


PLANCHE IV.

Appareil mixte. — Mesures du 19 juin 1899.





thermomètre, de maintenir une proportion suffisante d'eau dans la vapeur, et, par suite, de faire pénétrer constamment de l'eau dans l'alambic, soit à l'état liquide par l'entonnoir situé au sommet du chapiteau, soit à l'état de vapeur par le tuyau d'injection, de manière à remplacer celle qui va constamment se condenser dans le serpentin. D'autre part, la température est d'autant plus élevée que la térébenthine soumise à la distillation est plus pauvre en essence; à mesure que l'essence distillera et qu'il en restera moins dans l'alambic, le thermomètre ira donc constamment en s'élevant : il conviendra alors, pour empêcher ou tout ou moins pour ralentir cette ascension de la température, de la compenser en totalité ou en partie en faisant croître constamment la proportion d'eau contenue dans la vapeur, et, par suite, de forcer progressivement l'introduction d'eau dans l'alambic jusqu'à ce que toute l'essence ait distillé.

En ce qui concerne la composition du produit distillé, on pourra avoir, vers le début de cette période, de fortes proportions d'essence (jusqu'à 70 p. 100 et 80 p. 100); mais on verra ensuite, à partir du moment où la température cessera de monter pour devenir à peu près constante, la richesse en essence du produit condensé diminuer progressivement et tendre vers zéro à mesure que la distillation se poursuit et s'achève.

Ces prévisions de la théorie se trouvent confirmées par l'expérience, comme le montrent les diagrammes figurés ci-dessus (planches IV et V) et relevés par nous sur des alambics industriels en fonctionnement normal. Chaque distillation y donne lieu à deux courbes, figurant, l'une, la température du liquide dans l'alambic, l'autre, la proportion relative d'essence et d'eau dans des échantillons prélevés toutes les minutes (ou toutes les deux minutes) à l'extrémité du serpentin.

Le diagramme de la planche IV est relatif à une distillation de térébenthine (charge de 230 kilogrammes environ), effectuée dans un appareil mixte (distillation à feu nu, injection de vapeur, instillation d'eau liquide). On y observe, pendant les premières minutes (de la 4<sup>e</sup> à la 6<sup>e</sup>), le premier des deux cas signalés plus haut : distillation à basse température (105° à 111°), donnant seulement 46 p. 100 d'essence. Puis, l'eau liquide ayant disparu dans l'alambic, on se trouve dans le deuxième cas, et l'on peut suivre sur les deux courbes la variation simultanée de la température et de la composition du produit distillé. A la fin (de la 25<sup>e</sup> à la 30<sup>e</sup> minute), toute introduction d'eau ayant

cessé, on observe sur la courbe des températures le coup de feu final destiné à sécher la colophane fondue.

Le diagramme de la planche V est relatif à une distillation de térébenthine (charge de 410 kilogrammes environ), effectuée dans un appareil à vapeur, système G. Col. Ici, dès le début de la distillation, on se trouve dans le deuxième cas, la proportion d'essence dans le liquide condensé étant supérieure à 50 p. 100. Il est à remarquer que la courbe des températures n'indique aucun coup de feu final, la dessiccation de la colophane ayant lieu ici après la coulée, dans un récipient spécial.



# SUR LE DÉPLACEMENT DU ZÉRO DES THERMOMÈTRES

Par M. L. MARCHIS

PROFESSEUR ADJOINT A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE BORDEAUX

---

## § 1. — Définitions et faits d'expérience.

Considérons un thermomètre maintenu à la température  $T_0$ ; désignons par  $\theta_0$  l'indication qu'il fournit. Portons ce thermomètre à la température  $T_1$  qui est, par exemple, supérieur à  $T_0$ ; quand il a atteint cette température, ramenons-le à la température  $T_0$ . Nous disons que le thermomètre étudié a subi *une oscillation entre les températures  $T_0$  et  $T_1$* .

Lorsque après l'oscillation le thermomètre revient à la température  $T_0$ , il donne une indication  $\theta_1$  qui est en général différente de  $\theta_0$ . Nous exprimons ce fait en disant qu'il a subi *une modification permanente* mesurée par la différence  $\theta_1 - \theta_0$ .

Faisons osciller un grand nombre de fois ce thermomètre entre les deux températures  $T_0$  et  $T_1$ . Les indications  $\theta_0, \theta_1, \theta_2, \dots$  du thermomètre étudié correspondant, dans les oscillations successives, à la température  $T_0$  jouissent des propriétés suivantes :

1<sup>o</sup> Elles varient toutes dans le même sens, c'est-à-dire qu'elles vont toutes en croissant ou en décroissant ;

2<sup>o</sup> Les valeurs absolues des différences

$$(\theta_1 - \theta_0), (\theta_2 - \theta_1), \dots,$$

tendent vers zéro; en d'autres termes, les indications  $\theta_0, \theta_1, \theta_2, \dots$ , tendent vers une limite  $\theta_0$ .

Au début des expériences, les valeurs de  $\theta$ , relatives à deux oscillations consécutives, peuvent être distinguées l'une de l'autre; puis, pour que cette différence soit observable, il faut effectuer entre deux déterminations de  $\theta$  correspondant à  $T_0$  un nombre de plus en plus grand d'oscillations. Lorsque, ce nombre étant suffisant (30 ou 40, par exemple), la différence entre deux valeurs de  $\theta$  est inappréciable, on dit que le thermomètre se trouve dans l'état qui correspond à la limite  $\theta_0$ .

Mais cette limite  $\theta_0$ , une fois atteinte, n'est pas définitive; le thermomètre ne cesse pas de se transformer à partir du moment où elle a été obtenue, lorsqu'on continue à faire des oscillations entre les deux limites  $T_0$  et  $T_1$ . En effet, si, au lieu de faire 30 ou 40 oscillations entre deux déterminations consécutives des indications  $\theta$ , on en fait 100 ou 200, on observe généralement que la différence entre ces déterminations devient mesurable; si on continue les oscillations, il faut augmenter de plus en plus le nombre de ces oscillations comprises entre deux déterminations consécutives pour constater entre elles une différence.

De telles variations lentes ont été observées par C. Barns dans l'étude de la trempe de l'acier. Il leur a donné un nom caractéristique que nous adopterons, celui de *variations séculaires* <sup>(1)</sup>.

Nous disons donc que la limite  $\theta_0$  est susceptible de *variations séculaires* <sup>(2)</sup>.

Quand pour une série d'oscillations entre les températures  $T_0$  et  $T_1$ , le thermomètre est dans un état tel que la limite  $\theta_0$  des indications correspondant à la température  $T_0$  ne subit plus que des variations séculaires, nous disons que le thermomètre est très Recuit pour la modification consistant dans la série des oscillations ( $T_0$ ,  $T_1$ ,  $T_0$ ).

Cette proposition nous oblige immédiatement à faire la convention suivante, que nous pouvons considérer comme une définition de la variation séculaire de la limite  $\theta_0$ .

<sup>(1)</sup> C. BARNES, *The Mechanism of solid viscosity* (Bulletin of the United States geological Survey, n° 94, p. 79; 1892); — *The secular softening of cold Hard Steel, with Remarks on Electrical Standards* (Philosophical Magazine, 5<sup>e</sup> série, n° 271, déc. 1897; et Journal de Physique, 7<sup>e</sup> série, p. 169; 1898).

<sup>(2)</sup> Nous avons donné des exemples de variations séculaires  $\theta_0$  dans notre ouvrage : « *Les Modifications permanentes du verre et le déplacement du zéro des thermomètres*, p. 191-194. »

Dans les différentes séries d'expériences, nous considérons la limite  $\Theta_0$  comme ne subissant plus que des variations séculaires à partir du moment où, dans les oscillations de température, l'ascension moyenne par oscillation est égale ou inférieure à  $0^{\circ},0008$ .

La limite  $\Theta_0$  ainsi définie étant atteinte par le thermomètre dans la série des oscillations ( $T_0$ ,  $T_1$ ,  $T_0$ ), portons cet instrument à une température  $T_2$  différente de  $T_1$ ; ramenons-le de la température  $T_2$  à la température  $T_0$ , sans le laisser séjourner à la première température; enfin recommençons une nouvelle série d'oscillations entre les températures  $T_0$  et  $T_1$ . Après un nombre suffisant d'oscillations de cette nouvelle série, les indications du thermomètre correspondant à la température  $T_0$  tendent vers une nouvelle limite  $\Theta'_0$  définie comme la limite  $\Theta_0$  déjà obtenue.

Trois cas sont à distinguer :

1<sup>o</sup> La limite  $\Theta'_0$  est supérieure à la limite  $\Theta_0$ .

$$\Theta'_0 > \Theta_0.$$

Nous exprimons ce fait en disant :

La perturbation<sup>(1)</sup> à la température  $T_2$  a produit un RECUIT du thermomètre.

2<sup>o</sup> La limite  $\Theta'_0$  est inférieure à la limite  $\Theta_0$ .

$$\Theta'_0 < \Theta_0.$$

La perturbation à la température  $T_2$  a produit une TREMPE du thermomètre.

3<sup>o</sup> La limite  $\Theta'_0$  est égale à la limite  $\Theta_0$ .

$$\Theta'_0 = \Theta_0.$$

Le thermomètre ne s'est ni trempé ni recuit par suite de la perturbation à la température  $T_2$ . Nous exprimons ce fait en disant que le thermomètre est très Recuit pour la modification consistant dans l'ensemble des oscillations ( $T_0$ ,  $T_1$ ,  $T_0$ ) et de la perturbation à la température  $T_2$ .

(<sup>1</sup>) Une perturbation est une opération dans laquelle la température varie en dehors des limites  $T_0$  et  $T_1$ .

Considérons un thermomètre très recuit pour la modification consistant dans la série des oscillations ( $T_0$ ,  $T_1$ ,  $T_0$ ) et soit  $\theta_0$  l'indication limite correspondant à la température  $T_0$ . Abandonnons ce thermomètre pendant un temps plus ou moins long à la température  $T_0$ . Cette température ne restant pas absolument invariable, le thermomètre étudié est soumis à un grand nombre de petites oscillations de la température autour de la valeur moyenne  $T_0$ .

Si, au bout de durées variables, on détermine les indications du thermomètre correspondant à la température  $T_0$ , on constate que :

1° La limite  $\theta_0$  se déplace; les indications au thermomètre correspondant à la température  $T_0$  prennent des valeurs croissantes  $\theta_1$ ,  $\theta_2$ , ..., avec la durée de séjour du thermomètre à la température  $T_0$ .

$$\theta_0 < \theta_1 < \theta_2, \dots$$

2° Les différences  $\theta_1 - \theta_0$ ,  $\theta_2 - \theta_1$ , ... vont en décroissant.

A un instant quelconque du séjour du thermomètre à la température  $T_0$ , portons cet instrument à la température  $T_1$  et recommençons une série d'oscillations ( $T_0$ ,  $T_1$ ,  $T_0$ ). L'expérience met en évidence les phénomènes suivants.

PROPOSITION I. — *Si la durée du séjour à la température  $T_0$  n'est pas très considérable, l'indication  $\tau_0$  du thermomètre correspondant à la température  $T_0$  est, APRÈS LA PREMIÈRE OSCILLATION ( $T_0$ ,  $T_1$ ,  $T_0$ ), SUPÉRIEURE à la limite  $\theta_0$ ; les indications  $\tau_1$ ,  $\tau_2$ , ... après les oscillations suivantes vont en diminuant et tendent vers la limite  $\theta_0$ .*

Dans le chapitre V de notre thèse sur les *Déformations permanentes du verre et le déplacement du zéro des thermomètres*, nous avons donné de nombreux exemples de cette proposition.

PROPOSITION II. — *Si la limite supérieure  $T_1$  est peu élevée, les mêmes phénomènes s'observent quelle que soit la durée du séjour à la température  $T_0$ .*

PROPOSITION III. — *Si on a laissé pendant un temps très long le thermomètre à la température physiquement constante  $T_0$ , l'indication  $\tau_0$  du thermomètre correspondant à la température  $T_0$  est, après la première oscillation ( $T_0$ ,  $T_1$ ,  $T_0$ ), INFÉRIEURE OU ÉGALE à la limite  $\theta_0$ ;*

les indications  $\tau'_1, \tau'_2, \dots$  après les oscillations suivantes vont en augmentant et tendent soit vers la limite  $\Theta_0$ , soit vers une limite supérieure à  $\Theta_0$ .

En d'autres termes, le thermomètre peut ou bien revenir à son état primitif ou bien subir un certain recuit.

PROPOSITION IV. — *Les mêmes faits s'observent si, au lieu d'abandonner le thermomètre à la température physiquement constante  $T_0$ , on le maintient à une température physiquement constante inférieure ou peu supérieure à  $T_0$ .*

Ainsi dans les expériences que nous décrivons dans ce mémoire, les thermomètres étudiés ont été laissés à la température ordinaire d'un laboratoire, température variant entre les limites extrêmes  $5^\circ$  et  $30^\circ$ ; quant à la température  $T_0$ , elle a été tantôt égale à  $60^\circ$ , tantôt égale à la température de la glace fondante.

Les phénomènes définis dans les alinéas III et IV ont été décrits par nous pour la première fois dans notre thèse sur le déplacement du zéro des thermomètres. Ils font l'objet du chapitre VII de ce travail.

Mais les exemples que nous avons cités alors pouvaient laisser un doute dans l'esprit parce que les phénomènes observés étaient très petits. Cette circonstance tenait à ce que nous n'avions pu laisser les thermomètres séjourner à la température ordinaire qu'un temps relativement court, au maximum six mois.

Les expériences actuelles portent au contraire sur les mêmes thermomètres laissés pendant cinq ans à la température du laboratoire. Comme nous allons le voir, les faits que nous avons observés ne laissent plus aucune place au doute et montrent bien comment se comporte un thermomètre très recuit abandonné très longtemps à la température ordinaire et ramené par une série d'oscillations de température à un état initial ou à un état très voisin de cet état. Nous verrons en même temps combien ces résultats, *indépendants de toute théorie*, sont importants au point de vue de la thermométrie de précision.

## § 2. — Les résultats des expériences.

Le mode expérimental employé est celui que nous avons décrit dans le chapitre I de notre thèse sur les *Modifications permanentes du verre*.



Nous avons seulement quelques mots à dire sur le thermomètre étalon qui nous a servi à déterminer la température de 60° à laquelle, dans nos oscillations, nous ramenons un certain nombre de thermomètres.

Au moment où, il y a cinq ans, nous avons terminé les expériences de notre thèse, le zéro de ce thermomètre ne variait plus depuis plusieurs mois; il était déplacé et se trouvait à la division + 0°28. Quand nous avons commencé ces nouvelles expériences, nous avons déterminé le nouveau zéro de ce thermomètre et nous l'avons trouvé à la division + 0°32. Par suite de son séjour à la température ordinaire, le zéro avait monté de 0°04. Nous avons fait osciller pendant plusieurs jours ce thermomètre entre 50° et 60° dans l'étuve qui nous sert à établir la comparaison des thermomètres étudiés avec ce thermomètre étalon, et nous avons déterminé le zéro de ce thermomètre. Nous avons trouvé qu'il était revenu à la position + 0°28 qu'il occupait il y a cinq ans. Une nouvelle détermination de ce zéro faite après les expériences actuelles, pendant lesquelles le thermomètre étalon a été maintenu à la température physiquement constante de 60°, nous a conduit au même résultat. Nous montrerons plus loin l'importance de cette observation au point de vue de la thermométrie de précision.

Donnons maintenant les résultats de nos nouvelles expériences.

### 1. — *Thermomètre cristal Guilbert-Martin 33601.*

La tige est divisée en millimètres et demi-millimètres; le degré vaut environ 37<sup>mm</sup>50.

Les limites entre lesquelles se font les oscillations sont :

$$T_0 = 60^\circ. \qquad T_1 = 100^\circ.$$

Après un très grand nombre d'oscillations entre 60° et 100°, le thermomètre donnait, il y a cinq ans, l'indication suivante :

$$60^\circ. \dots\dots\dots 248,25 = \theta_0.$$

Après cinq ans de séjour à la température du laboratoire, il donne l'indication :

$$60^\circ. \dots\dots\dots 254,50.$$

Le point 60 a monté de  $254,50 - 248,25 = + 6,25$ , ce qui correspond en degrés à  $+ 0^{\circ}17$ .

On porte l'instrument 7 minutes à  $100^{\circ}$ , puis on le refroidit brusquement jusqu'à  $60^{\circ}$ . L'indication du thermomètre après la *première oscillation* ( $60 - 100 - 60$ ) est :

$$60^{\circ}. \dots\dots\dots 248,75 = \tau_0.$$

Le point 60 a baissé de  $254,50 - 248,75 = 5,75$  ou de  $0^{\circ}155$ .

Après 70 oscillations, entre  $60^{\circ}$  et  $100^{\circ}$ , l'indication fournie par le thermomètre est :

$$60^{\circ}. \dots\dots\dots 248,50$$

La nouvelle limite est très légèrement supérieure à la limite  $\Theta_0$ ; elle n'en diffère que d'une grandeur qui est de l'ordre des erreurs d'expérience.

La position  $\tau_0$  du point 60 après la *première oscillation* est *supérieure* à la limite  $\Theta_0$ ; nous avons là un exemple qui se rapporte à la proposition II du paragraphe précédent.

## II. — *Thermomètre en verre vert* 36820.

La tige est divisée en millimètres et demi-millimètres; le degré vaut environ 15 millimètres.

Les limites entre lesquelles se font les oscillations sont :

$$T_0 = 0^{\circ}. \qquad T_1 = 100^{\circ}.$$

Après un très grand nombre d'oscillations entre 0 et  $100^{\circ}$ , le thermomètre donnait, il y a cinq ans, l'indication suivante :

$$0^{\circ}. \dots\dots\dots 22,75 = \Theta_0.$$

Après cinq ans de séjour à la température ordinaire, il donne l'indication :

$$0^{\circ}. \dots\dots\dots 23,55.$$

Le zéro a monté de  $23,55 - 22,75 = + 0,80$ , ou en degrés  $+ 0^{\circ}054$ .

On porte l'instrument 7 minutes à  $100^{\circ}$ , puis on le refroidit brusquement jusqu'à  $0^{\circ}$ . L'indication du thermomètre après la *première oscillation* [0, 100, 0] est :

$$0^{\circ} . . . . . 23,05 = \tau_0.$$

Le zéro a baissé de  $23,55 - 23,05 = 0,50$  ou de  $0^{\circ}034$ .

Après 80 oscillations entre  $0^{\circ}$  et  $100^{\circ}$ , l'indication fournie par le thermomètre est :

$$0^{\circ} . . . . . 22,80.$$

La nouvelle limite est très légèrement supérieure à la limite  $\theta_0$ ; elle n'en diffère que d'une grandeur qui est de l'ordre des erreurs d'expérience.

La position  $\tau_0$  du zéro après la *première oscillation* est *supérieure* à la limite  $\theta_0$  [Proposition II du paragraphe précédent].

### III. — *Thermomètre en verre vert* 36821.

La tige est divisée en millimètres et demi-millimètres; le degré vaut environ 15 millimètres.

Les limites entre lesquelles se font les oscillations sont :

$$T_0 = 0^{\circ}. \quad T_1 = 185^{\circ}.$$

Après un très grand nombre d'oscillations entre 0 et  $185^{\circ}$ , le thermomètre donnait, il y a 4 ans et 7 mois, l'indication suivante :

$$0^{\circ} . . . . . 25 = \theta_0.$$

Après 4 ans et 7 mois de séjour à la température ordinaire, il donne l'indication :

$$0^{\circ} . . . . . 26.$$

Le zéro a monté de 1 millimètre ou  $0^{\circ}067$ .

On porte l'instrument 10 minutes à  $185^{\circ}$ , puis on le refroidit brus-

quement jusqu'à 0°. L'indication du thermomètre après la *première oscillation* [0° 185° 0°] est :

$$0^{\circ} . . . . . 24,75 = \tau'.$$

Le zéro a baissé de  $26 - 24,75 = 1,25$  ou 0° 083.

Après 60 oscillations entre 0° et 185°, l'indication fournie par le thermomètre est :

$$0^{\circ} . . . . . 25,50.$$

La nouvelle limite est *plus élevée* que la limite  $\theta_0$  de 0<sup>mm</sup> 50 ou 0° 034.

Le thermomètre s'est *Recuit*.

Ces résultats constituent un exemple des propositions III et IV du paragraphe précédent; en effet, la position  $\tau_0$  du zéro après la *première oscillation* est *au-dessous* de la limite  $\theta_0$ .

#### IV. — *Thermomètre en cristal Guilbert-Martin* 32416.

La tige est divisée en millimètres et demi-millimètres; le degré vaut environ 5<sup>mm</sup> 75.

Les limites entre lesquelles se font les oscillations sont :

$$T_0 = 60^{\circ}. \quad T_1 = 185^{\circ}.$$

Après un très grand nombre d'oscillations entre 60° et 85°, le thermomètre donnait, il y a 5 ans, l'indication suivante :

$$60^{\circ} . . . . . 293,65 = \theta_0.$$

Après 5 ans de séjour à la température ordinaire, il fournit l'indication :

$$60^{\circ} . . . . . 296,15.$$

Le point 60 a monté de  $296,15 - 293,65 = 2,50$  ou 0° 44.

On porte l'instrument 10 minutes à 185°, puis on le refroidit brusquement jusqu'à 60°. L'indication du thermomètre après la *première oscillation* [60°, 185°, 60°] est .

$$60^{\circ} . . . . . 293,35 = \tau'_0.$$

Le point 60° a baissé de  $296,15 - 293,35 = 2,80$  ou 0° 49.

Après 120 oscillations entre 60° et 185°, l'indication donnée par le thermomètre est :

60°. . . . . 293,75.

La nouvelle limite est à peine *supérieure* à la limite  $\theta_0$ ; elle en diffère de 0° 017. Le thermomètre a *subi un léger Recuit*.

Le point 60 après la *première* oscillation (position  $\tau_0$ ) est *au-dessous* de la limite  $\theta_0$ . [Propositions III et IV du paragraphe précédent.]

#### V. — Thermomètre en cristal Guilbert-Martin 36720.

La tige est divisée en millimètres et demi-millimètres; le degré vaut environ  $28^{\text{mm}} 75$ .

Les limites entre lesquelles se font les oscillations sont :

$$T_0 = 60^\circ \qquad T_1 = 185^\circ.$$

Après un très grand nombre d'oscillations entre 60° et 185°, le thermomètre donnait, il y a 5 ans, l'indication suivante :

60°. . . . . 226 =  $\theta_0$ .

Après 5 ans de séjour à la température ordinaire, il fournit l'indication :

60°. . . . . 241,50

Le point 60 a monté de  $241,50 - 226 = 15,50$  ou 0° 54.

On porte l'instrument 10 minutes à 185°, puis on le refroidit brusquement. L'indication du thermomètre après la *première oscillation* [60-185°-60] est.

60°. . . . . 224,50 =  $\tau'_0$ .

Le point 60° a baissé de  $241,50 - 224,50 = 17$  ou 0° 59.

Après 90 oscillations entre 60 et 185°, l'indication donnée par le thermomètre est :

60°. . . . . 226.

La nouvelle limite est identique à la limite  $\Theta_0$ .

Le point 60, après la *première* oscillation (position  $\tau'_0$ ), est *au-dessous* de la limite  $\Theta_0$ . [Propositions III et IV du paragraphe précédent.]

# VI. — *Thermomètre cristal Guilbert-Martin 34901.*

La tige est divisée en millimètres et demi-millimètres ; le degré vaut environ  $8^{\text{mm}} 75$ .

Ce thermomètre présente la particularité suivante : son réservoir, *très épais*, a 4 millimètres d'épaisseur.

Les limites entre lesquelles se font les oscillations sont :

$$T_0 = 60^\circ \qquad T_1 = 185^\circ.$$

Après un très grand nombre d'oscillations entre 60 et 185°, le thermomètre donnait, il y a 5 ans, l'indication suivante :

$$60^\circ . . . . . 157,85.$$

Après 5 ans de séjour à la température du laboratoire, il fournit l'indication :

$$60^\circ . . . . . 162,65.$$

Le point 60 a monté de  $162,65 - 157,85 = 4,80$  ou  $0^\circ 54$ .

On porte l'instrument 12 minutes à 185°, puis on le refroidit brusquement. L'indication du thermomètre après la *première oscillation* [60-185-60] est :

$$60^\circ . . . . . 157,50 = \tau'_0.$$

Le point 60 a baissé de  $162,65 - 157,50 = 5,15$  ou  $0^\circ 59$ .

Après 50 oscillations entre 60 et 185°, l'indication donnée par le thermomètre est :

$$60^\circ . . . . . 158.$$

La nouvelle limite est très légèrement *supérieure* à la limite  $\Theta_0$  ; elle n'en diffère que de  $0^\circ 02$ .

Le point 60 après la première oscillation (position  $\tau'_0$ ) est *au-dessous* de la limite  $\Theta_0$ . [Propositions III et IV du paragraphe précédent.]

### VII. — *Thermomètre cristal Guilbert-Martin 34903.*

La tige est divisée en millimètres et demi-millimètres; le degré vaut environ  $18^{\text{mm}} 25$ .

A l'inverse du précédent, ce thermomètre a un réservoir *excessivement mince*,  $0^{\text{mm}} 1$  d'épaisseur.

Les limites entre lesquelles se font les oscillations sont :

$$T_0 = 60^\circ \qquad T_1 = 185^\circ.$$

Après un très grand nombre d'oscillations entre  $60$  et  $185^\circ$ , le thermomètre donnait, il y a 5 ans, l'indication suivante :

$$60^\circ \dots\dots\dots 144,25 = \Theta_0.$$

Après 5 ans de séjour à la température du laboratoire, il fournit l'indication :

$$60^\circ \dots\dots\dots 151.$$

Le point 60 a monté de  $151 - 144,25 = 6,75$  ou  $0^\circ 50$ .

On porte l'instrument 9 minutes à  $185^\circ$ , puis on le refroidit brusquement. L'indication du thermomètre après la *première* oscillation [60-185-60] est :

$$60^\circ \dots\dots\dots 143,50 = \tau'_0.$$

Le point 60 a baissé de  $151 - 143,50 = 7,50$  ou  $0^\circ 57$ .

Après 50 oscillations entre 60 et  $185^\circ$ , l'indication fournie par le thermomètre est :

$$60^\circ \dots\dots\dots 144,75$$

La nouvelle limite est *supérieure* à la limite  $\Theta_0$ ; elle en diffère de  $0^\circ 037$ .

Le thermomètre a subi un certain *Recuit*.

Le point 60, après la *première* oscillation (position  $\tau'_0$ ), est *au-dessous* de la limite  $\Theta_0$ . [Propositions III et IV du paragraphe précédent.]

# VIII. — Thermomètre cristal Guilbert-Martin 30390.

La tige est divisée en millimètres et demi-millimètres; le degré vaut environ 5<sup>mm</sup> 75.

Les limites entre lesquelles se font les oscillations sont :

$$T_0 = 60^\circ \qquad T_1 = 310^\circ.$$

Après un très grand nombre d'oscillations entre 60° et 310°, le thermomètre donnait, il y a 5 ans, l'indication suivante :

$$60^\circ. \dots\dots\dots 188 = \Theta_0.$$

Après 5 ans de séjour à la température du laboratoire, il fournit l'indication :

$$60^\circ. \dots\dots\dots 190,50.$$

Le point 60 a monté de  $190,50 - 188 = 2,50$  ou 0° 43.

On porte l'instrument 10 minutes à 310°, puis on le refroidit brusquement. L'indication du thermomètre après la *première oscillation* [60-310-60] est :

$$60^\circ. \dots\dots\dots 188 = \tau'_0.$$

Le point 60 a baissé de  $190,50 - 188 = 2,50$  ou 0° 43.

Après 70 oscillations entre 60 et 310, l'indication fournie par le thermomètre est :

$$60^\circ. \dots\dots\dots 188,25.$$

La nouvelle limite est *supérieure* à la limite  $\Theta_0$ ; elle en diffère de 0° 043.

Le thermomètre étudié a subi un *certain Recuit*.

Après la *première oscillation*, le point 60 (position  $\tau'_0$ ) coïncide avec la limite  $\Theta_0$ . [Propositions III et IV du paragraphe précédent.]



IX. — *Thermomètre en verre vert 36723.*

La tige est divisée en millimètres et demi-millimètres ; le degré vaut environ 5 millimètres.

Les limites entre lesquelles se font les oscillations sont :

$$T_0 = 0^\circ \qquad T_1 = 357^\circ.$$

Après un très grand nombre d'oscillations entre  $0^\circ$  et  $357^\circ$ , le thermomètre donnait, il y a 4 ans et 7 mois, l'indication suivante :

$$0^\circ. \dots\dots\dots 34 = \theta_0.$$

Après 4 ans et 7 mois de séjour à la température du laboratoire, il fournit l'indication :

$$0^\circ. \dots\dots\dots 34,35.$$

Le zéro a monté de  $34,35 - 34 = 0,35$  ou  $0^\circ 07$ .

On porte l'instrument 10 minutes à  $357^\circ$  et on le refroidit brusquement. L'indication du thermomètre après la *première oscillation* [ $0^\circ - 357^\circ - 0^\circ$ ] est :

$$0^\circ. \dots\dots\dots 33,60 = \tau'_0.$$

Le zéro a baissé de  $34,35 - 33,60 = 0,75$  ou  $0^\circ 15$ .

Après 100 oscillations entre  $0^\circ$  et  $357^\circ$ , l'indication fournie par le thermomètre est :

$$0^\circ. \dots\dots\dots 34,25.$$

La nouvelle limite est *supérieure* à la limite  $\theta_0$  ; elle en diffère de  $0^\circ 05$ . Le thermomètre s'est *recuit*.

Après la *première oscillation* le zéro (position  $\tau'_0$ ) a été déprimé et s'est trouvé *au-dessous* de la limite  $\theta_0$ . [Propositions III et IV du paragraphe précédent.]

Les résultats des épreuves que nous venons de développer justifient bien les proportions I, II, III et IV que nous avons énoncées dans le

paragraphe précédent. Ils montrent dans tous les cas et d'une manière bien nette quels sont les effets qui résultent *d'un long séjour* d'un thermomètre à la température ordinaire. On voit que les phénomènes qui se produisent sont différents suivant que la température supérieure des oscillations  $T_1$  est plus grande ou plus petite qu'une certaine limite; pour des températures  $T_1$  supérieures ou égales à  $185^\circ$ , les phénomènes sont définis par les propositions III et IV du paragraphe précédent; pour des températures  $T_1$  voisines de  $100^\circ$ , ce sont les propositions I et II qui sont l'expression des phénomènes observés.

### § 3. — Conséquences au point de vue de la thermométrie de précision.

Les expériences que nous venons d'indiquer nous conduisent à une conséquence importante au point de vue de la thermométrie de précision.

Considérons un thermomètre de précision qui a oscillé un très grand nombre de fois entre deux températures  $T_0$  et  $T_1$ ,  $T_1$  étant plus grand que  $T_0$  et voisin de  $100^\circ$ . Au bout d'un certain temps l'indication correspondant à la température  $T_0$  reste invariable quel que soit le nombre des oscillations; la limite que nous avons appelée  $\Theta_0$  est atteinte. A ce moment abandonnons l'instrument à la température ordinaire d'un laboratoire. Si, au bout d'un certain temps, nous cherchons de nouveau quelle est l'indication du thermomètre qui correspond à la température  $T_0$ , nous trouvons que l'instrument marque une température supérieure à  $\Theta_0$ . *Mais nous pouvons le ramener à fournir l'indication primitive  $\Theta_0$  au moyen d'une série d'oscillations entre les températures  $T_0$  et  $T_1$ .*

Dans notre thèse sur les *Modifications permanentes du verre* nous avons bien indiqué, aux pages 427 et 428, la remarque que nous venons de faire, mais nous n'avions pu donner d'exemples portant sur une très longue durée du séjour d'un thermomètre à la température ordinaire. Les expériences actuelles sur les thermomètres 33601 et 36820 viennent combler cette lacune.

Cette observation nous conduit à une autre conséquence.

Considérons un thermomètre étalon maintenu à une température

physiquement constante, c'est-à-dire un thermomètre qui oscille entre deux limites  $T_0$  et  $T_1$  très voisines l'une de l'autre. Il n'y a aucun inconvénient à sortir ce thermomètre de l'enceinte où il se trouve pour le ramener dans la glace fondante afin de déterminer la position de son zéro. En effet, ramené dans cette enceinte il reprend au bout de quelques oscillations son état primitif. Il convient seulement, si l'on veut obtenir des résultats comparables, de donner à ce thermomètre un refroidissement rapide, toujours le même, en opérant comme le fait M. Baudin, c'est-à-dire en plongeant le thermomètre successivement dans une série de bains maintenus à des températures de  $80^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $15^\circ$ ; d'autre part, il est bon, lorsqu'on a repéré le zéro de l'instrument, de le reporter rapidement dans l'enceinte d'où on l'a primitivement sorti.

Lorsqu'on se propose de mesurer avec quelque précision des températures supérieures à  $100^\circ$ , les mêmes précautions sont bonnes à prendre bien que le thermomètre ne revienne pas en général à la même limite  $\theta_0$  après la série d'oscillations que nous venons d'indiquer. Toutefois les résultats des expériences nous montrent qu'avec un thermomètre en verre vert bien recuit à  $440^\circ$  [tel que le thermomètre 36723] la différence entre les deux limites ne dépasse pas  $0^\circ 05$  même quand la température supérieure  $T_1$  des oscillations est égale à  $357^\circ$ . On peut donc dire que, même dans ces conditions défavorables, la méthode d'oscillations que nous préconisons ramène le thermomètre sensiblement à l'état qu'il avait avant son long séjour à la température ordinaire. Il est d'ailleurs facile en ramenant rapidement le thermomètre étudié dans la glace fondante de se rendre compte de cette variation d'état.

#### § 4. — Interprétation des résultats des expériences dans la théorie des déformations permanentes.

Le phénomène du déplacement du zéro des thermomètres met en évidence l'existence dans le verre de certaines modifications auxquelles on a donné le nom de *Modifications permanentes* ou de *Phénomènes d'hystérésis*.

Considérons une masse de verre égale à l'unité, et supposons

qu'elle soit soumise à une pression extérieure constante. Admettons que ce système soit défini par son volume spécifique  $v$  et par sa température  $T$ . Donnons à la température  $T$  une variation infiniment petite  $dT$ , et appelons  $dv$  la variation correspondante du volume  $v$ ; ces deux variations sont liées ensemble par l'équation :

$$(1) \quad 0 = \frac{\partial^2 \mathcal{F}(v, T)}{\partial v^2} dv + \frac{\partial^2 \mathcal{F}(v, T)}{\partial v \partial T} dT + f(v, T) |dv|$$

dans laquelle  $\mathcal{F}(v, T)$  est une fonction de l'état du système ;

$|dv|$  représente la variation absolue de la variable  $v$  ;

$f(v, T)$  est une fonction finie, continue et uniforme de  $v$  et de  $T$  qui a reçu de M. Duhem le nom de *Coefficient d'hystérésis relatif à la variable  $v$*  ; cette fonction garde une même forme, soit que  $v$  varie par valeurs toujours croissantes, soit qu'il varie par valeurs toujours décroissantes.

En partant de l'équation (1), M. Duhem<sup>(1)</sup> a développé l'étude théorique d'un système qui ne dépend que d'une variable  $v$  à laquelle correspond un coefficient d'hystérésis. Il a pu ainsi rendre compte d'un certain nombre de faits expérimentaux qui se présentent dans l'étude du déplacement du zéro des thermomètres. Ce sont ceux que fournissent les thermomètres très recuits.

Mais cette théorie ne rend pas compte de tous les phénomènes que l'on observe dans l'étude du déplacement du zéro des thermomètres. Le verre n'est pas un système dont l'état est entièrement défini, hors la température, par une seule variable normale, le volume spécifique. Il convient d'adjoindre à la température  $T$  et au volume spécifique  $v$  deux nouvelles variables normales<sup>(2)</sup>  $x$  et  $y$  dont chacune indique le degré d'une réaction chimique inconnue dont ce verre est le siège ; les deux variables  $x$  et  $y$  sont toutes deux affectées d'un coefficient d'hystérésis. Dès lors, toute modification d'un système représentatif de l'état du verre vérifie les trois égalités :

(<sup>1</sup>) La théorie de M. Duhem est exposée dans les chapitres II et III de notre thèse sur les *Déformations permanentes du verre*.

(<sup>2</sup>) Pour l'introduction de ces variables voir notre thèse, p. 104 et 394

$$\begin{aligned}
 (2) \quad \left\{ \begin{aligned}
 0 &= \frac{\partial^2 \mathcal{F}(v, x, y, T)}{\partial v^2} dv + \frac{\partial^2 \mathcal{F}(v, x, y, T)}{\partial v \partial x} dx + \frac{\partial^2 \mathcal{F}(v, x, y, T)}{\partial v \partial y} dy \\
 &\quad + \frac{\partial^2 \mathcal{F}(v, x, y, T)}{\partial v \partial T} dT + f_v(v, x, y, T) |dv| \\
 0 &= \frac{\partial^2 \mathcal{F}(v, x, y, T)}{\partial x \partial v} dv + \frac{\partial^2 \mathcal{F}(v, x, y, T)}{\partial x^2} dx + \frac{\partial^2 \mathcal{F}(v, x, y, T)}{\partial x \partial y} dy \\
 &\quad + \frac{\partial^2 \mathcal{F}(v, x, y, T)}{\partial x \partial T} dT + f_x(v, x, y, T) |dx| \\
 0 &= \frac{\partial^2 \mathcal{F}(v, x, y, T)}{\partial y \partial v} dv + \frac{\partial^2 \mathcal{F}(v, x, y, T)}{\partial y \partial x} dx + \frac{\partial^2 \mathcal{F}(v, x, y, T)}{\partial y^2} dy \\
 &\quad + \frac{\partial^2 \mathcal{F}(v, x, y, T)}{\partial y \partial T} dT + f_y(v, x, y, T) |dy|
 \end{aligned} \right.
 \end{aligned}$$

dans lesquelles  $\mathcal{F}(v, x, y, T)$  est une fonction finie; uniformé continue des variables qui définissent l'état du système;  $|dv|$ ,  $|dx|$ ,  $|dy|$ , sont les valeurs absolues des variations  $dv$ ,  $dx$ ,  $dy$ ;  $f_v$ ,  $f_x$ ,  $f_y$  sont les coefficients d'hystérésis relatifs aux variables  $v$ ,  $x$ ,  $y$ .

On peut, sur un pareil système, démontrer le théorème fondamental suivant<sup>(1)</sup>:

Le système représentatif d'une masse de verre dépend de trois variables  $v$ ,  $x$  et  $y$  auxquelles correspondent des coefficients d'hystérésis  $f_v$ ,  $f_x$ ,  $f_y$ , qui ont de petites valeurs.

On donne à la température  $T$  une variation cyclique ( $T_0$ ,  $T_1$ ,  $T_0$ ), il en résulte pour la variable  $v$  une variation permanente  $\Delta v$ .

Cette variation peut être approximativement remplacée par la somme de trois autres :

1° La variation permanente  $\Delta w$  que la même variation cyclique de  $T$  imposerait à la variable  $v$  en un système où  $f_x$  et  $f_y$  seraient égaux à 0 et qui d'ailleurs serait identique au précédent;

2° La variation permanente  $\Delta v_x$  que la même variation cyclique de  $T$  imposerait à la variable  $v$  en un système où  $f_y$  et  $f_v$  seraient égaux à 0 et qui d'ailleurs serait identique au précédent;

3° La variation permanente  $\Delta v_y$  que la même variation cyclique de  $T$  imposerait à la variable  $v$  en un système où  $f_v$  et  $f_x$  seraient égaux à 0 et qui d'ailleurs serait identique au précédent.

(<sup>1</sup>) Voir notre thèse, p. 139 à 143.

On a donc l'égalité :

$$(3) \quad \Delta v = \Delta w + \Delta v_x + \Delta v_y.$$

Nous allons maintenant indiquer comment l'étude des systèmes fictifs que nous avons, par le théorème précédent, substitués au système réel, permet de connaître les variations  $\Delta w$ ,  $\Delta v_x$ ,  $\Delta v_y$ .

**VARIATION  $\Delta w$ .** — *Système fictif dans lequel  $f_y$  et  $f_v$  sont égaux à zéro.* — Prenons une masse de verre égale à l'unité et désignons son volume par  $w$ . Portons en abscisses les températures auxquelles nous chauffons la masse de verre et en ordonnées les volumes  $w$  correspondants ; un point  $M$  de ce plan peut être considéré comme un point figuratif de l'état de la masse de verre.

Élevons la température de la valeur  $T_0$  à la valeur  $T_1$ , le verre se dilate ; dans le plan  $TOw$ , le point figuratif part de  $M_0$  (fig. 1), décrit une ligne qui monte de gauche à droite et qui vient couper l'ordonnée  $T_1$  en un point  $M_1$ . Cette trajectoire  $M_0 M_1$  ne peut être parcourue par le point figuratif que de gauche à droite ; nous lui donnons le nom de *ligne ascendante*.

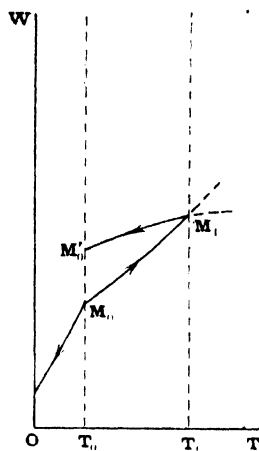


FIG. 1.

Le verre étant à la température  $T_1$  dans l'état marqué par le point  $M_1$ , abaissons la température de  $T_1$  à  $T_0$  ; le verre se contracte et le point figuratif suit la ligne  $M_1 M'_0$  différente de  $M_1 M_0$ . Cette ligne descend de droite à gauche ; nous lui donnons le nom de *ligne descendante*.

Ainsi un point du plan  $TOw$  étant donné, le point figuratif de l'état d'une masse de verre ne suit pas le même chemin, suivant qu'il passe en ce point à température ascendante ou à température descendante ; ces deux chemins sont, en général, entre eux un certain angle.

Enfin, en passant par chaque point du plan, le point figuratif ne peut suivre que deux chemins distincts ; en d'autres termes, il ne passe par chaque point du plan  $TOw$  qu'une seule ligne ascendante et une seule ligne descendante.

Le verre étant, à la température  $T_0$ , dans l'état figuré par le point

$M_0$ , produisons une oscillation de température ( $T_0$ ,  $T_1$ ,  $T_0$ ). Le point figuratif suit le chemin  $M_0 M_1 M'_0$ ; on a :

$$\Delta v = \text{segment } M_0 M'_0.$$

Dans la figure 1 ce segment est *positif*, la variation permanente du volume  $v$  est une *augmentation de volume*; le zéro du thermomètre construit avec le verre étudié *s'abaisse*.

Il en est ainsi parce que nous supposons que l'ascendante  $M_0 M_1$  et la descendante  $M_1 M'_0$  ne se coupent pas entre les ordonnées  $T_0$  et  $T_1$ , et, de plus, que ces deux lignes, prolongées au delà de  $M_1$  sont disposées de telle sorte que l'ascendante passe au-dessus de la descendante.

Mais, au point  $M_1$ , les lignes ascendante et descendante qui se croisent en ce point peuvent être telles que l'ascendante passe au-dessous de la descendante, quand on prolonge ces lignes au delà de ce point. Dans ce cas, s'il n'y a pas

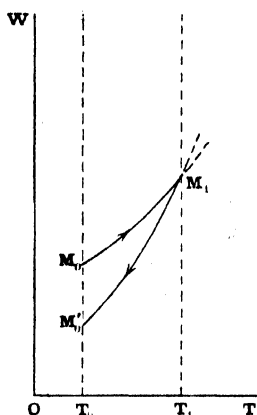


FIG. 2.

d'intersection entre  $T_0$  et  $T_1$ , la descendante suivie pendant le refroidissement de  $T_1$  à  $T_0$  vient couper l'ordonnée  $T_0$  en un point  $M'_0$  situé *au-dessous* de  $M_0$ . Le segment  $M_0 M'_0$  ou  $\Delta w$  est *négatif*; le zéro d'un thermomètre construit avec le verre étudié se *relève*.

Or, le plan  $TOw$  peut être divisé en deux régions. Dans l'une, l'ascendante et la descendante qui passent en un point ont la disposition qu'elles affectent au point  $M_1$  de la figure 1; dans l'autre, l'ascendante et la descendante ont en chaque point la disposition qu'elles affectent au point  $M_1$  de la figure 2.

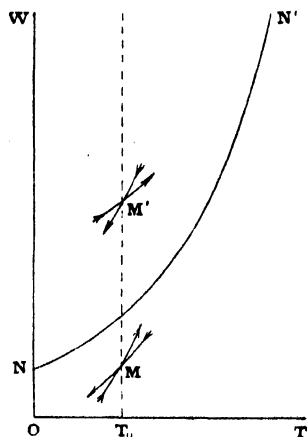


FIG. 3.

Ces deux régions sont séparées par une ligne telle qu'en chacun de ses points l'ascendante et la descendante sont *tangentes entre elles*. Cette ligne reçoit le nom de *ligne des États Naturels*.

Les deux régions que nous venons de définir sont disposées comme l'indique la figure 3.

Cette distribution des régions du plan  $TOw$  conduit à la propriété importante suivante de la ligne des états naturels.

Considérons dans le plan  $TOw$  la ligne des états naturels.  $NN'$  et une ordonnée  $N_1T_1$  qui la coupe en  $N_1$  (fig. 4). Soit  $M_1$  la position du point qui, à un certain instant, figure l'état du verre à la température  $T_1$ . Faisons osciller la température de petites quantités autour de la valeur  $T_1$ . Le point figuratif partant de  $M_1$  décrit des ascendantes et des descendantes très petites  $M_1m_1$ ,  $m_1m'_1m''_1m'_1$ , etc., qui coupent  $N_1T_1$  en des points de plus en plus rapprochés du point  $N_1$  de la ligne des états naturels; il coïncidera avec le point  $N_1$  au bout d'un nombre assez grand d'oscillations. Prenons maintenant la masse de verre dans un état figuré par

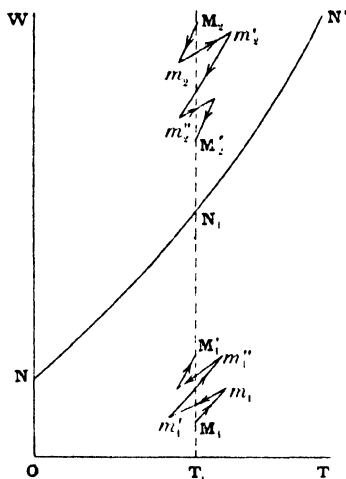


FIG. 4.

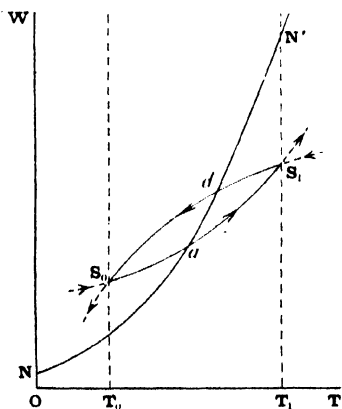


FIG. 5.

le point  $M_2$  situé au-dessus de la ligne des états naturels. Si nous faisons osciller la température de petites quantités autour de  $T_1$ , nous reconnaissons de même que le point figuratif oscille suivant  $M_2m_2$ ,  $m'_2m''_2$ , etc., et tend aussi vers le point  $N_1$ . L'état naturel figuré par le point  $N_1$  est donc l'état limite vers lequel tend une masse de verre lorsque sa température oscille de petites quantités autour de la valeur  $T_1$  qui correspond au point  $N_1$ .

Lorsqu'une même ligne ascendante coupe en deux points une même ligne descendante, l'ensemble de ces deux lignes constitue un cycle fermé (fig. 5).

Les deux sommets d'un cycle fermé sont l'un au-dessus, l'autre au-dessous de la ligne des états naturels.



Si le cycle est *sinistrorsum*, on a la disposition de la figure 5 qui convient à la variation de la variable  $w$ .

Le cycle fermé possède une propriété importante que nous allons maintenant indiquer.

Produisons une série d'oscillations de la masse de verre entre les

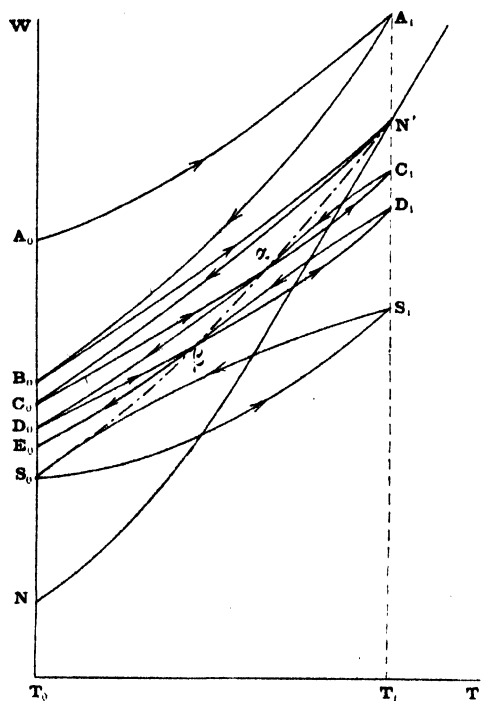


FIG. 6

températures  $T_0$  et  $T_1$  et mesurons les volumes spécifiques  $w_0$  correspondant à la température  $T_0$ . La marche du point figuratif pendant ces oscillations va nous montrer de quelle manière sont rangées ces diverses valeurs du volume spécifique  $w$ .

Supposons que l'état initial de la masse de verre soit figuré par le point  $A_0$ . Pendant la *première* oscillation ( $T_0, T_1, T_0$ ), le point figuratif suit le chemin  $A_0 A_1 B_0$ ; la descendante est tout entière au-dessous de l'ascendante et ces deux lignes sont, dans tout leur parcours, au-dessus de la ligne des états naturels. Le verre

a subi une diminution permanente de volume.

Dans une *deuxième* oscillation, le point figuratif suit le chemin  $B_0 N' C_0$ ; l'ascendante et la descendante ont la même disposition que dans la première oscillation; mais elles sont *tangentes entre elles* au point  $N'$ .

Une troisième oscillation ( $T_0, T_1, T_0$ ) fait décrire au point figuratif la trajectoire  $C_0 \alpha C_1$  (ascendante),  $C_1 \alpha D_0$  (descendante); cette trajectoire présente cette particularité que la descendante  $C_1 \alpha D_0$  vient couper l'ascendante  $C_0 \alpha C_1$  en un point  $\alpha$  dont l'abscisse est comprise entre  $T_0$  et  $T_1$ ; le point figuratif parcourt un cycle fermé *sinistrorsum* dont les sommets sont  $\alpha$  et  $C_1$ . Il en est ainsi toutes les fois que la

trajectoire décrite par le point figuratif est contenue en partie dans la région située au-dessus de la ligne des états naturels, en partie dans la région située au-dessous. D'ailleurs, au point de vue des variations permanentes du volume du verre, cette troisième oscillation produit, comme les précédentes, *une diminution de volume*.

Dans les oscillations suivantes, une partie de la trajectoire du point figuratif se trouve au-dessus de  $NN'$ , une partie est au-dessous. Le point figuratif décrit dans une portion de son parcours un cycle fermé sinistrorsum : l'un des sommets de ce cycle est sur l'ordonnée  $T_1$  ; quant à l'autre, il se rapproche de l'ordonnée  $T_0$  à mesure que le nombre des oscillations augmente. D'autre part, le lien des seconds sommets  $\alpha, \beta, \dots$  est une ligne située tout entière à gauche de  $NN'$ , qui laisse à sa droite les cycles  $\alpha C_1, \beta D_1, \dots$  et qui vient couper l'ordonnée  $T_1$  en  $N'$ , ce point pouvant être considéré comme un cycle infiniment petit. Cette ligne  $N'\alpha\beta$  vient couper l'ordonnée  $T_0$  au point  $S_0$ . Donc le cycle  $S_0S_1$  fait partie de la trajectoire décrite pendant une oscillation ( $T_0, T_1, T_0$ ) par le point figuratif de l'état du verre.

*Ainsi, lorsqu'on fait osciller une masse de verre entre deux limites de température, le point figuratif suit une trajectoire formée d'ascendantes et de descendantes qui, au bout d'un nombre convenable d'oscillations, se confond avec un cycle fermé dont les sommets sont sur les ordonnées des deux températures limites.*

L'examen de la figure 6 nous conduit encore aux conclusions suivantes.

1° Les points figuratifs  $A_0, B_0, C_0, \dots$ , étant situés de plus en plus bas sur l'ordonnée  $T_0$ , le zéro d'un thermomètre construit avec le verre étudié se relève constamment pendant les oscillations ;

2° Les points figuratifs  $A_0, B_0, C_0, \dots$  se rapprochent indéfiniment du point  $S_0$ . Le zéro d'un thermomètre construit avec le verre étudié tend vers une limite ; les ascensions successives de ce zéro dans les diverses oscillations tendent à devenir nulles.

Nous retrouvons une partie des propositions énoncées au début de ce mémoire sur les variations du zéro d'un thermomètre qui oscille un très grand nombre de fois entre les limites  $T_0$  et  $T_1$ .

VARIATION  $\Delta v_x$ . — Système fictif dans lequel  $f_m$  et  $f_v$  sont égaux à zéro. — La théorie conduit à énoncer sur cette variation les propositions suivantes.

Prenons deux arcs de coordonnées rectangulaires  $OT, Ov_x$  :

1° Il existe dans le plan  $TOv_x$  des lignes ascendantes et des lignes descendantes telles que, par un point du plan  $TOv_x$ , il passe une seule ligne ascendante et une seule ligne descendante;

2° Le plan  $TOv_x$  est partagé en deux régions par une ligne des

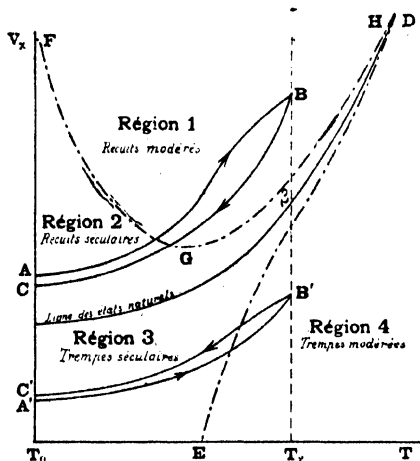


FIG. 7.

états naturels qui monte de gauche à droite; dans ces régions, les lignes ascendante et descendante passant par un même point ont la disposition de la figure 3;

3° Le point figuratif  $(T, v_x)$  décrit un cycle fermé *sinistrorsum*, dont le sommet inférieur est *au-dessus* de la ligne des états naturels et le sommet supérieur *au-dessous* de cette ligne;

4° Considérons une oscillation  $(T_0, T_1, T_0)$ . Si, pendant l'échauffement de la température  $T_0$  à la température  $T_1$ , le point figuratif

suit la ligne ascendante AB, située en entier au-dessus de la ligne des états naturels, ce point suit, pendant le refroidissement de la température  $T_1$  à la température  $T_0$ , une descendante BC. On a :

$$\Delta v_x = \text{segment AC.}$$

Dans ce cas où le segment AC est *négatif*, on dit que le thermomètre s'est *Recuit* (1). La région du plan  $TOv_x$  qui est située *au-dessus* de la ligne des états naturels reçoit le nom de *Région des Recuits*.

Si, au contraire, pendant l'échauffement depuis la température  $T_0$  jusqu'à la température  $T_1$ , le point figuratif  $(T, v_x)$  suit une ligne ascendante A'B' située en entier *au-dessous* de la ligne des états naturels, il suit, pendant le refroidissement depuis la température  $T_1$  jusqu'à la température  $T_0$ , une descendante B'C' qui vient couper

(1) Ce cas correspond à  $\theta'_0 > \theta_0$ ; voir au début de ce mémoire la définition expérimentale du Recuit d'un thermomètre.

l'ordonnée  $T_0$  au-dessus de  $A'$ . Le segment  $A'C'$  est *positif*, on dit que le thermomètre s'est *trempe*<sup>(1)</sup>.

La région du plan  $TOv_x$  qui est *au-dessous* de la ligne des états naturels reçoit le nom de *Région des Trempes*.

5° La région des recuits peut elle-même être divisée en deux sous-régions par une ligne  $FGH$  marquée en pointillé sur la figure 7. Cette ligne est définie de la manière suivante. Supposons que le point  $B$ , d'abord très élevé sur l'ordonnée  $T_2$ , se rapproche peu à peu du point  $\beta$  de la ligne des états naturels; le segment  $AC$ , d'abord grand en valeur absolue, diminue rapidement; alors que le point  $B$  est encore éloigné de la ligne des états naturels, ce segment est devenu trop petit pour être observable au bout d'une seule oscillation ( $T_0, T_2, T_0$ ), et il faut un très grand nombre de telles oscillations pour mettre en évidence une variation appréciable du volume  $v_x$ .

La première région (région 1) reçoit le nom de *Région des Recuits modérés*, et la deuxième (région 2) le nom de *Région des Recuits séculaires*.

De même, la région des trempes est divisée en deux par une ligne  $DE$ : la région 3 (trempes séculaires) et la région 4 (trempes modérées).

L'ensemble des régions 2 et 3 s'appelle la *Région des variations séculaires*. Cette région, large à basse température, se resserre de plus en plus au fur et à mesure que le température s'élève.

VARIATION  $\Delta v_y$ . — *Système fictif dans lequel  $f_w$  et  $f_y$  sont égaux à zéro.* — La variation  $\Delta v_y$  obéit aux mêmes lois que la variation  $\Delta_w$ .

Toutefois un cycle fermé décrit entre deux températures  $T_0$  et  $T_1$ ,  $T_1 > T_0$  est *dextrorsum*; le sommet du cycle qui correspond à la température inférieure  $T_0$  est *au-dessous* de la ligne des états naturels,

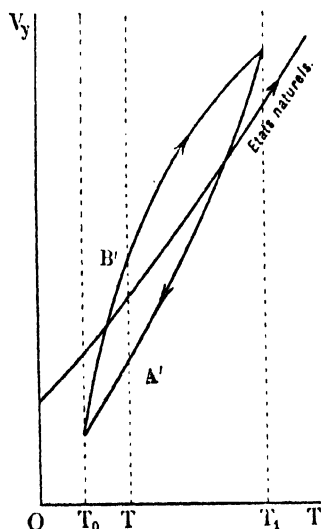


FIG. 8.

(1) Ce cas correspond à  $\Theta'_0 < \Theta_0$ ; voir la définition expérimentale de la trempe d'un thermomètre.

tandis que le sommet du cycle correspondant à la température supérieure  $T_1$  est *au-dessus* de la ligne des états naturels.

APPLICATION DES RÉSULTATS PRÉCÉDENTS A L'EXPLICATION DES FAITS D'EXPÉRIENCE QUI FONT L'OBJET DE CE MÉMOIRE. — Nous connaissons les lois que suivent les variations  $\Delta w$ ,  $\Delta v_x$ ,  $\Delta v_y$ . Composons maintenant ces segments et cherchons les conséquences qui en résultent au point de vue expérimental, c'est-à-dire au point de vue des lois du déplacement du zéro des thermomètres.

Supposons d'abord que la variation  $\Delta v_x$  soit négligeable, c'est-à-dire que, dans toutes les modifications imposées au thermomètre, le point figuratif du volume  $v_x$  ne sorte pas de la région des variations séculaires définie dans le plan  $TOv_x$ .

Ceci posé, considérons un thermomètre qui oscille entre les températures  $T_0$  et  $T_1$ . Considérons l'une de ces oscillations ( $T_0$ ,  $T_1$ ,  $T_0$ ). Soit  $\Delta v$  la variation permanente *réelle* du volume spécifique du thermomètre pendant cette consultation. Nous avons, en désignant par  $\Delta w$  et par  $\Delta v_y$  les variations permanentes des volumes spécifiques des systèmes fictifs définis plus haut<sup>(1)</sup>,

$$(4) \quad \Delta v = \Delta w + \Delta v_y.$$

Cette équation nous montre que, pour obtenir dans le cas actuel les variations permanentes du volume spécifique d'un thermomètre réel, il suffit d'étudier, d'une part dans le plan  $TOw$ , d'autre part dans le plan  $TOv_y$ , les trajectoires décrites pour les points figuratifs des volumes spécifiques  $w$  et  $v_y$ .

Prenons donc un thermomètre *très Recuit* pour l'intervalle ( $T_0$ ,  $T_1$ ), c'est-à-dire un thermomètre pour lequel  $\Delta v_x$  est négligeable, et faisons-le osciller un certain nombre de fois entre ces limites de température.

Dans le plan  $TOw$ , le point figuratif du volume spécifique  $w$  du

(<sup>1</sup>) Pour faciliter l'exposition, nous donnerons les noms suivants aux trois systèmes fictifs :

1° *Premier thermomètre fictif*: système fictif, correspondant au volume  $w$ , et pour lequel  $f_x$  et  $f_y$  sont nuls;

2° *Deuxième thermomètre fictif*: système fictif correspondant au volume  $v_x$ , et pour lequel  $f_w$  et  $f_y$  sont nuls;

3° *Troisième thermomètre fictif*: système fictif correspondant au volume  $v_y$ , et pour lequel  $f_w$  et  $f_x$  sont nuls.

premier thermomètre fictif décrit, au bout d'un nombre convenable d'oscillations entre  $T_0$  et  $T_1$ , le cycle fermé limite  $S_0S'_0$ . Dans le plan  $TOv_v$ , le point figuratif du volume spécifique  $v_v$  du troisième thermomètre fictif décrit, au bout d'un nombre convenable d'oscillations entre  $T_0$  et  $T_1$ , le cycle fermé limite  $U_0U'_0$ . Ainsi, à la température  $T_0$ ,

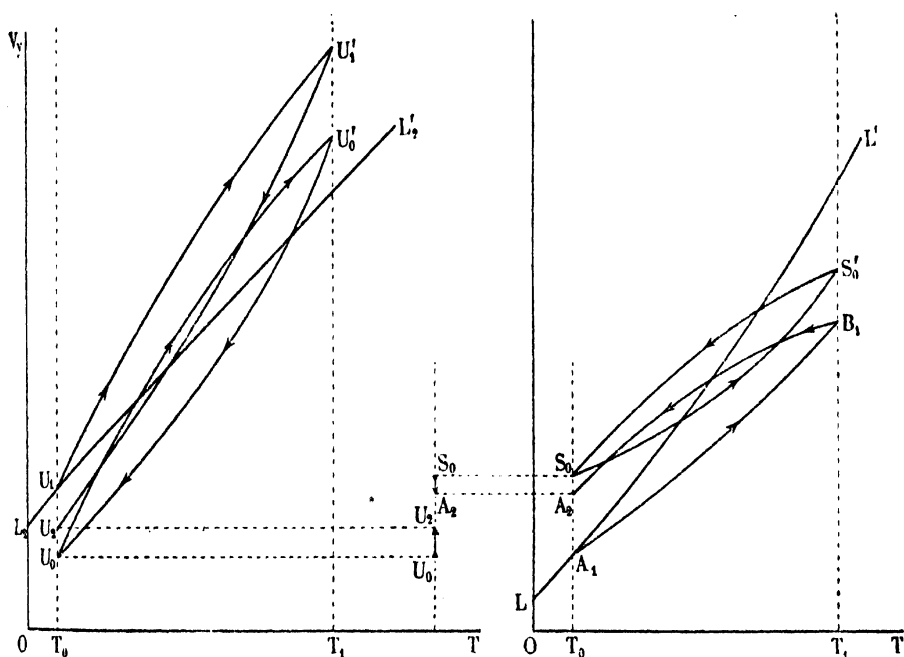


FIG. 9.

$S_0$  et  $U_0$  sont les positions actuelles des points figuratifs des volumes spécifiques des deux thermomètres fictifs (fig. 9).

Abandonnons le thermomètre pendant quelque temps à l'influence des oscillations de la température physiquement constante  $T_0$ . Dans le plan  $TOw$ , le point figuratif du volume spécifique  $w$  du premier thermomètre fictif décrit, à partir de la position  $S_0$ , une série d'ascendantes et de descendantes qui le rapprochent de la ligne des états actuels et l'amènent à la position limite  $A_1$  au bout d'un nombre convenable d'oscillations très petites autour de la température  $T_0$ . Dans le plan  $TOv_v$ , le point figuratif du volume spécifique  $v_v$  du troisième thermomètre fictif décrit, à partir de la position  $U_0$ , une série

d'ascendantes et de descendantes qui le rapprochent de la ligne des états naturels et l'amènent à la position limite  $U_1$  au bout d'un nombre suffisamment grand d'oscillations très petites autour de la température  $T_0$ . Ainsi les positions limites des deux points figuratifs sont maintenant  $A_1$  et  $U_1$ ; mais le premier thermomètre fictif a tendu vers la position limite  $A_1$  en *diminuant de volume*, tandis que le troisième thermomètre fictif a tendu vers la limite  $U_1$  en *augmentant de volume*. Donc l'effet de la température oscillante  $T_0$  s'obtient en composant les deux segments de sens contraires, l'un  $\overline{S_0 A_1}$ , l'autre  $\overline{U_0 U_1}$ , c'est-à-dire en faisant la somme algébrique  $\overline{S_0 A_1} + \overline{U_0 U_1}$ . Dans tous les cas que nous avons constatés jusqu'ici, le séjour prolongé à une température  $T_0$  produit une ascension du zéro d'un thermomètre et par suite une diminution du volume spécifique du verre; donc le segment  $\overline{S_0 A_1}$  est en général en valeur absolue supérieur au segment  $\overline{U_0 U_1}$  (fig. 9).

Le thermomètre étant à la température  $T_0$  dans un état figuré par les deux points  $A_1$  et  $U_1$ , portons cet instrument à la température  $T_1$ , puis ramenons le presque immédiatement à la température  $T_0$  par un refroidissement brusque. Dans le plan  $TOw$ , le point figuratif du volume spécifique  $w$  du premier thermomètre fictif du volume décrit la trajectoire  $A_1 B_1 A_2$  qui vient couper l'ordonnée  $T_0$  en un point  $A_2$  situé *au-dessous* du point  $S_0$ . Nous pouvons caractériser l'effet de cette *première oscillation* par la grandeur et la direction du segment  $\Delta w = \overline{S_0 A_2}$ ; ce segment est ici un segment *descendant* (fig. 9).

Dans le plan  $TOv_y$ , le point figuratif du volume spécifique  $v_y$  du troisième thermomètre fictif décrit la trajectoire  $U_1 U'_1 U_2$  qui vient couper l'ordonnée  $T_0$  en un point  $U_2$  situé *au-dessus* du point  $U_0$ . Nous pouvons caractériser l'effet de cette *première oscillation* par la grandeur et la direction du segment  $\Delta v_y = \overline{U_0 U_2}$ ; ce segment est ici un segment *ascendant* (fig. 9).

Donc, au bout de la *première oscillation* ( $T_0, T_1, T_0$ ) l'état du thermomètre est figuré par les deux points  $A_2$  et  $U_2$ ; l'effet total de l'oscillation s'obtient en composant les deux segments de sens contraires  $\overline{S_0 A_2}$  et  $\overline{U_0 U_2}$ , c'est-à-dire en faisant la somme  $\overline{S_0 A_2} + \overline{U_0 U_2}$ .

D'autre part, désignons, comme nous l'avons fait plus haut, par  $\Theta_0$  l'indication limite du thermomètre correspondant à la température  $T_0$  après la première série d'oscillations entre les températures  $T_0$  et  $T_1$ , c'est-à-dire l'indication qui correspond à l'état du thermomètre figuré par les points  $S_0$  et  $U_0$ ;

Par  $\tau_0$ , l'indication du thermomètre correspondant à la température  $T_0$  après la *première oscillation* ( $T_0, T_1, T_0$ ), c'est-à-dire l'indication qui correspond à l'état du thermomètre figuré par les points  $A_1$  et  $U_1$  de la figure 9.

L'effet total de la première oscillation ( $T_0, T_1, T_0$ ) peut s'évaluer en faisant la somme algébrique

$$\overline{S_0 A_1} + \overline{U_0 U_1} \text{ (fig. 9).}$$

Le même effet peut être mesuré d'autre part par la différence

$$\Theta_0 - \tau_0.$$

Trois cas sont à distinguer.

1° La valeur absolue du segment  $\Delta v_y = \overline{U_0 U_1}$  est inférieure à la valeur absolue du segment  $\Delta w = \overline{S_0 A_1}$ .

Dans ce cas :

$$\Delta v = \overline{S_0 A_1} + \overline{U_0 U_1} < 0.$$

Le segment résultant de la composition des deux segments  $\overline{S_0 A_1}$  et  $\overline{U_0 U_1}$  est un segment descendant; si on représente dans le plan  $TOw$  et sur l'ordonnée  $T_0$  le volume spécifique du thermomètre réel après la *première oscillation* ( $T_0, T_1, T_0$ ), le point figuratif se trouve entre les points  $S_0$  et  $A_1$ .

On a, dans ce cas :

$$\Theta_0 - \tau_0 < 0.$$

La position  $\tau_0$  du zéro après la *première oscillation* ( $T_0, T_1, T_0$ ) est supérieure à la limite  $\Theta_0$ .

Nous retrouvons la proposition I du paragraphe I de ce mémoire.

2° La valeur absolue du segment  $\Delta v_y = \overline{U_0 U_1}$  est égale à la valeur absolue du segment  $\Delta w = \overline{S_0 A_1}$ .

Dans ce cas :

$$\Delta v = \overline{S_0 A_1} + \overline{U_0 U_1} = 0.$$

Le segment résultant de la composition des deux segments  $\overline{S_0 A_1}$  et  $\overline{U_0 U_1}$  est nul; si on représente dans le plan  $TOw$  et sur l'ordonnée  $T_0$  le volume spécifique du thermomètre réel après la première oscillation ( $T_0, T_1, T_0$ ), le point figuratif coïncide avec le point  $S_0$ .



En même temps, on a :

$$\Theta_0 - \tau_0 = 0.$$

C'est l'expression de la proposition III du paragraphe I de ce mémoire.

3° La valeur absolue du segment  $\Delta v_v = U_0 U_2$  est SUPÉRIEURE à la valeur absolue du segment  $\Delta w = S_0 A_2$ .

Dans ce cas :

$$\Delta v = \overline{S_0 A_2} + \overline{U_0 U_2} > 0.$$

Le segment résultant de la composition des deux segments  $\overline{S_0 A_2}$  et  $\overline{U_0 U_2}$  est un segment *ascendant*; si on représente dans le plan  $TOw$  et sur l'ordonnée  $T_0$  le volume spécifique du thermomètre *réel* après la première oscillation  $(T_0, T_1, T_0)$ , le point figuratif se trouve *au-dessus* du point  $S_0$ .

En même temps, on a :

$$\Theta_0 - \tau_0 > 0.$$

La position  $\tau_0$  du zéro après la *première* oscillation  $(T_0, T_1, T_0)$  est *inférieure* à la limite  $\Theta_0$ .

Nous retrouvons la proposition III du paragraphe I de ce mémoire.

Nous avons supposé jusqu'ici que le thermomètre était assez recuit pour pouvoir négliger la variation  $\Delta v_x$  du volume spécifique  $v_x$  du deuxième thermomètre fictif. En réalité, lorsque le thermomètre est maintenu longtemps à la température  $T_0$ , il se recuit; pour se rendre compte des phénomènes que présente le déplacement du zéro d'un thermomètre, il est alors nécessaire de composer non plus deux, mais trois segments.

Considérons dans le plan  $\overline{TOv_x}$  les positions du point figuratif du volume spécifique  $v_x$  du deuxième thermomètre fictif dans les diverses expériences que nous allons analyser.

1° On produit un très grand nombre d'oscillations du thermomètre entre les températures  $T_0$  et  $T_1$  jusqu'à ce que la trajectoire du point figuratif du volume  $v_x$  soit tout entière dans la région des variations séculaires du plan  $TOv_x$ .

Au bout de ce grand nombre d'oscillations, le point figuratif de la variable  $w$  décrit dans le plan  $TOw$  le cycle limite  $S_0 S'_0$ ; le point figuratif de la variable  $v_x$  décrit dans le plan  $TOv_x$  le cycle limite

$U_0 U'_0$ ; le point figuratif de la variable  $v_x$  suit dans le plan  $T O v_x$  une ascendante et une descendante sensiblement confondues qui coupent l'ordonnée  $T_0$  au point  $W_0$  (fig. 10).

Soit, d'autre part,  $\theta_0$  l'indication limite du thermomètre correspondant à la température  $T_0$ .

2° On abandonne le thermomètre à une température oscillant de petites quantités autour de la valeur  $T_0$ .

Dans le plan  $\text{TO}w$ , le point figuratif du volume  $w$  vient en  $\Lambda_1$ ; dans le plan  $\text{TO}v_y$ , le point figuratif du volume  $v_y$  vient en  $U_1$ ; dans le plan  $\text{TO}v_x$ , le point figuratif du volume  $v_x$  vient en  $W_1$ .

3° On produit une série d'oscillations entre les températures  $T_0$  et  $T_1$ .

Considérons d'abord l'effet de la première oscillation.

Dans le plan  $\text{TO}w$ , le point figuratif de la variable  $w$  vient en  $A_2$ ; dans le plan  $\text{TO}v_y$ , le point figuratif de la variable  $v_y$  vient en  $U_2$ ; supposons que, dans le plan  $\text{TO}v_x$ , le point figuratif de la variable  $v_x$  vienne en  $W_2$ .

L'effet de la première oscillation s'évalue en faisant la somme algébrique des trois segments :

$$\overline{S_0 A_0} + \overline{U_0 U_0} + \overline{W_0 W_0} \text{ (fig. 9 et 10).}$$

Soit  $\tau'_0$  l'indication du thermomètre après la *première* oscillation.

La différence  $\Theta_0 - \pi'_0$  peut encore être considérée comme représentant

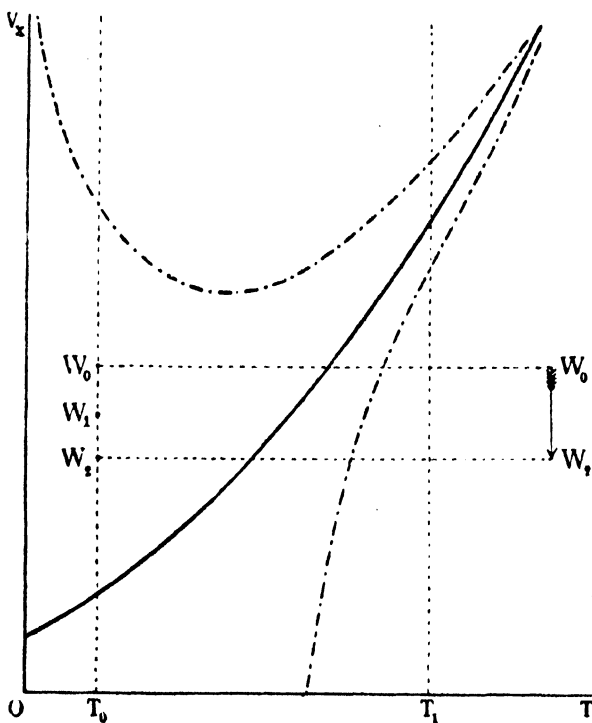


FIG. 10.

l'effet de la *première* oscillation ou comme une mesure de la somme algébrique qui précède.

Pendant les autres oscillations, le point figuratif du volume  $v_x$  ne sort pas de la région des variations séculaires. Au bout d'un nombre convenable d'oscillations, le point figuratif de la variable  $w$  décrit dans le plan  $TOw$  le cycle  $S_0S'_0$ ; le point figuratif de la variable  $v_x$  décrit dans le plan  $TOv_x$  le cycle  $U_0U'_0$ ; le point figuratif de la variable  $v_x$  décrit dans le plan  $TOv_x$  une ascendante et une descendante sensiblement confondues qui viennent couper l'ordonnée  $T_0$  en un point très peu différent de  $W_1$ .

Si  $\theta'_0$  est l'indication du thermomètre au bout de cette seconde série d'oscillations, la différence :

$$\theta_0 - \theta'_0$$

est une mesure du segment  $\overline{W_0W_1}$ .

On voit donc que la différence

$$\theta_0 - \tau'_0 - (\theta_0 - \theta'_0)$$

est une mesure de la somme algébrique des deux segments

$$\overline{S_0A_1} + \overline{U_0U_1}.$$

On voit dès lors que si  $\theta_0 - \theta'_0 < 0$  ( $\theta'_0 > \theta_0$ ), c'est-à-dire si le thermomètre s'est *recuit* par suite de son séjour à la température  $T_0$ , et si  $\theta_0 - \tau'_0$  est *positif*, à *fortiori*

$$\theta_0 - \tau'_0 - (\theta_0 - \theta'_0)$$

est *positif*; par suite on a l'inégalité

$$\overline{S_0A_1} + \overline{U_0U_1} > 0.$$

Nous retrouvons la proposition III du paragraphe I de ce mémoire.

Dans le cas où  $\theta_0 - \theta'_0 > 0$ , c'est-à-dire dans le cas où le thermomètre s'est *trempe*, il faut, pour retrouver les phénomènes dont l'étude fait l'objet de ce mémoire, que l'on ait :

$$\theta_0 - \tau'_0 - (\theta_0 - \theta'_0) > 0.$$

Nous avons seulement rencontré dans nos expériences actuelles le cas où

$$\theta_0 - \theta'_0 \leq 0.$$


---

# LES SILICO-ALUMINURES

Par M. Em. VIGOUROUX

PROFESSEUR DE CHIMIE INDUSTRIELLE A LA FACULTÉ DES SCIENCES  
DE BORDEAUX

Les silico-aluminures *définis* sont inconnus; j'ai été amené à constater leur formation en cherchant à produire des siliciures, sans l'intervention du four électrique, par le procédé suivant.

MODE GÉNÉRAL DE PRÉPARATION. — C'est le mode classique de préparation du silicium cristallisé, découvert par Wœhler et modifié par l'auteur (1), quant aux proportions des substances réagissantes à mettre en œuvre, avec cette différence que la poudre de fluorure double de silicium et de potassium, à réduire par l'aluminium, est additionnée ici de 50 grammes à 100 grammes d'un oxyde métallique également en poudre. Après réalisation de la réaction qui s'accomplit, comme d'habitude, au rouge vif, et, après refroidissement, le culot que l'on retire de dessous la scorie, présente l'aspect ordinaire de l'alliage d'aluminium silicifère : à sa surface et sur les différentes sections que l'on peut provoquer par le choc, apparaissent de nombreuses lamelles cristallines de silicium. On l'attaque encore par l'acide chlorhydrique qui dissout l'aluminium libre et qui abandonne, sous forme de résidu, d'abondants cristaux du métalloïde. Mais ces derniers ne constituent pas l'unique résidu; on y perçoit encore, disséminés dans la masse, des grains très brillants, présentant l'éclat métallique nettement caractérisé. En projetant le tout dans le bromoforme, le métalloïde se rend et se maintient à la surface, tandis que les particules métalliques se rassemblent dans le fond. Ces particules jouissent de la forme cristalline et renferment du silicium, de

(1) *Annales de Chimie et Physique*, t. XII, année 1897.

l'aluminium et du métal correspondant à l'oxyde traité, les trois éléments s'y manifestant à l'état de combinaison.

Le silicium et l'aluminium ne sont donc pas deux corps absolument indifférents vis-à-vis l'un de l'autre; si, comme je l'ai démontré antérieurement<sup>(1)</sup>, ces deux éléments refusent d'entrer en combinaison, pour former des composés binaires, lorsqu'on les met en présence, à l'état libre ou naissant (cas de l'alliage d'aluminium silicifère de Wœhler, par exemple), ils deviennent, par contre, susceptibles de s'unir, dès qu'on fait intervenir un troisième métal et, par son intermédiaire, prennent naissance des composés ternaires nouveaux parfaitement cristallisés que j'appelle *silico-aluminures*.

MÉTHODE GÉNÉRALE D'ANALYSE. — Il importe, en premier lieu, de dépouiller totalement ces corps des dernières particules de silicium et d'aluminium libres, interposés dans les cristaux, qui auraient pour effet de fausser les résultats des dosages, en venant augmenter les proportions de ces éléments que l'on pourrait considérer comme combinés. A cet effet, après porphyrisation, ils sont projetés dans une solution étendue de soude que l'on soumet à une ébullition prolongée, jusqu'à ce que le résidu ne diminue plus de poids. Puis, deux procédés d'attaque sont utilisés.

1° *Attaque par les carbonates alcalins*. — Le mélange constitué par des carbonates de soude, de potasse (celui-ci remplacé par du nitre, parfois) et de la matière métallique est chauffé fortement, dans un creuset de platine, et maintenu en fusion ignée jusqu'à désagrégation complète. La masse est ensuite projetée dans l'acide chlorhydrique étendu. Si la dissolution est incomplète, on reprend l'attaque du résidu que l'on projette, une seconde fois, dans le même acide. Lorsque tout se dissout, on évapore à siccité, puis vers 120°, de façon à insolubiliser la silice. Dans la liqueur se trouvent l'aluminium et l'autre métal que l'on sépare par des réactifs appropriés.

Ce procédé entraîne l'inconvénient de détruire le carbone; or, les gaz du four Perrot, où se réalise d'ordinaire ce genre de réactions, ont pu filtrer à travers les parois poreuses des creusets et abandonner du carbone au culot métallique.

2° *Attaque par le chlore*. — On l'utilise à l'état gazeux et sec. Il

(1) *Société des Sciences physiques et naturelles, Bordeaux, année 1902.*

passé dans un tube de Bohême emprisonnant une nacelle en porcelaine, chargée de la substance à doser et chauffé sur une grille. Dès la température du rouge, les cristaux s'attaquent, avec incandescence généralement; les chlorures métalliques formés sont entraînés plus ou moins loin de la nacelle et le chlorure de silicium s'échappe par l'orifice de sortie du tube. Pour le capter, on a éprouvé quelques difficultés. L'eau, en effet, ainsi que bon nombre de liquides aqueux ont dû être rejetés : la silice gélatineuse, qui vient s'y former dès le commencement de l'attaque, ne tarde pas à obstruer le tube adducteur, si large soit-il; elle le bouche souvent et, de plus, elle s'accroche tellement aux parois du verre qu'il devient impossible de l'en détacher complètement. Après maints essais, j'ai surmonté la difficulté en adoptant l'alcool redistillé, comme liquide condensateur : le chlorure de silicium s'y mélange, sans modification apparente, et la plupart des autres chlorures entraînés s'y dissolvent également bien, de sorte qu'avec un tube de calibre un peu fort, pour amener les produits d'attaque, on n'a plus à redouter ni obstruction ni accrolement. Le magma alcoolique des chlorures est ensuite versé dans une capsule, à moitié remplie d'eau distillée; il est évaporé à siccité pour la transformation complète des composés de silicium en silice et l'analyse est continuée comme il est dit ci-dessus.

Cette seconde méthode offre l'avantage que le carbone, s'il en existe dans le silico-aluminure, se retrouve, dans la nacelle, à l'état de résidu. De plus, avec le chlore préparé par le procédé de Scheele, complètement desséché et totalement dépouillé des traces d'oxygène qu'il pourrait contenir par son passage à travers un tube de charbon porté au rouge, on peut transformer intégralement les trois éléments en chlorures, sans avoir à redouter qu'il y ait formation, sur la nacelle, d'un dépôt appréciable de silice ou d'alumine qu'aurait pu engendrer soit l'humidité, soit l'oxygène, accompagnant le gaz destiné à l'attaque.

Remarquons que l'opération d'insolubilisation de la silice a l'inconvénient de rendre difficile, parfois incomplète, la dissolution ultérieure, dans l'acide chlorhydrique, de l'alumine et du second oxyde qui l'accompagne, de sorte que le poids de silice se trouvant majoré de celui des substances devenues insolubles, la proportion de silicium qu'on en déduit devient trop forte. On tourne la difficulté de la façon suivante : on pèse ce résidu, une première fois; on le traite ensuite par l'acide fluorhydrique qui chasse la silice à l'état de fluorure et

laisse les deux autres métaux. Une seconde calcination, suivie d'une nouvelle pesée, fait connaître, par différence, le poids exact de silice. Le résidu est ajouté à la solution chlorhydrique et la séparation des deux métaux effectuée comme il sera dit ultérieurement.

Dans ce travail, je m'attacherai surtout à résumer les méthodes grâce auxquelles la composition de chacun de ces corps nouveaux a été établie, me réservant de publier ultérieurement l'étude qui m'a amené à la connaissance de leurs propriétés physiques et chimiques.

### Silico-aluminure de chrome.

*Sa préparation* a été réalisée en chauffant, au four Perrot, le mélange suivant :

Fluorure double . . . . .	600 grammes.
Sesquioxyde de chrome . . . . .	80 —
Aluminium concassé. . . . .	300 —

Le culot était attaqué par l'acide chlorhydrique au dixième et le silicium libre était enlevé soit par le bromoforme, soit par la soude à l'ébullition. Les eaux d'attaque ne renfermaient ni chrome, ni silice.

*Ses principales propriétés* sont les suivantes : les cristaux se présentent sous la forme d'aiguilles très brillantes ; susceptibles de fondre au four à réverbère, dans un courant d'hydrogène, en formant un lingot, bien homogène à l'œil nu, et sillonné de nombreuses stries, dans le sens de la longueur. Si on les fond, dans les mêmes conditions, en présence d'aluminium, et qu'on enlève ensuite l'excès de métal resté libre, au moyen de la soude, on trouve un résidu plus chargé d'aluminium.

L'acide chlorhydrique, étendu ou concentré, froid ou à l'ébullition, ne produit aucun effet sur ces cristaux. L'acide azotique, placé dans les mêmes conditions, n'agit pas davantage. L'eau régale se trouve dans le même cas.

Les alcalis (potasse, soude), en solution au dixième, ne les entament pas, même si l'on porte les liqueurs à l'ébullition. On peut encore les abandonner à la concentration : leur action demeure nulle. Il en est de même des carbonates alcalins en solution.

L'action de ces cinq réactifs a été étudiée avec soin; les cristaux, pesés avant et après chacune des opérations, n'accusaient aucune diminution de poids.

L'acide fluorhydrique, au contraire, les attaque énergiquement, dès la température ordinaire; on s'en aperçoit, de suite, aux fumées blanches qui se dégagent et à la coloration verdâtre que prend le liquide acide.

**ANALYSE.** — 1<sup>o</sup> *Par les alcalins.* — L'attaque s'effectue facilement avec un mélange de carbonate de soude (2 parties) et de nitrate de potasse (1 partie); elle se manifeste avec incandescence. Lorsqu'elle est complète, on traite la masse par l'acide chlorhydrique étendu, que l'on additionne ensuite d'alcool dans le but de réduire le chromate. On insolubilise la silice; puis la nouvelle liqueur chlorhydrique, renfermant l'aluminium et le chrome, est traitée par l'ammoniaque qui précipite ces deux éléments à l'état d'hydrates que l'on sèche.

Pour séparer le chrome et l'aluminium, le procédé Baubigny nous a fourni d'excellents résultats: soumettre le mélange des deux oxydes à l'action combinée de l'acide nitrique et du chlorate de potassium que l'on projette, de temps en temps, dans le liquide. Le chrome passe à l'état de chromate soluble et l'alumine, également en solution, peut ensuite précipiter seule lorsqu'on fait agir le bicarbonate de soude en excès. Quant au chromate alcalin, on le transforme en chromate mercurieux insoluble.

### RÉSULTATS

I		II	
	—		—
Silicium. . . .	40,81 p. 100	Silicium. . . .	41,05 p. 100
Aluminium . .	20,83 —	Aluminium . .	19,25 —
Chrome . . . .	38,51 —	Chrome . . . .	38,61 —
	<hr/> 100,15		<hr/> 98,91

2<sup>o</sup> *Par le chlore.* — Dès la température du rouge sombre, l'action commence avec incandescence; il vient se déposer un sublimé violacé sur la paroi du tube et, au bout d'une demi-heure, l'attaque d'environ 0<sup>sr</sup> 200 de matière est achevée. La nacelle ne contient ni résidu de silice ni résidu de carbone. Au moyen d'un jet d'alcool, on dirige le tout dans une capsule d'évaporation, à moitié remplie d'eau et l'on y projette quelques grenailles de zinc, afin de provoquer la dissolution



du chlorure chromique. Après insolubilisation, la silice est isolée au moyen de l'acide chlorhydrique qui entraîne l'aluminium et le chrome à l'état de chlorures; on les précipite simultanément par l'ammoniaque et l'on sèche.

Le mélange des deux oxydes a été séparé ici au moyen du bioxyde de sodium qui nous a fourni d'excellents résultats. On le chauffe, dans un creuset d'argent, et l'on projette, peu à peu, le mélange des deux oxydes : la totalité du chrome se dissout, à l'état de chromate; une partie de l'alumine reste insoluble. On projette la masse dans l'eau et l'on porte à l'ébullition dans le but de décomposer l'excès de bioxyde (qui, sous l'action ultérieure des acides, viendrait former de l'eau oxygénée capable de réduire le chromate); puis, après neutralisation, par l'acide chlorhydrique, jusqu'à commencement d'acidité, l'aluminium est précipité par le carbonate d'ammoniaque, à l'état d'alumine. La liqueur, réduite par l'alcool, toujours en présence du même acide, se transforme en chlorure dont on précipite le chrome au moyen de l'ammoniaque.

### RÉSULTATS

I		II	
Silicium. . . .	39,96 p. 100	Silicium. . . .	40,85 p. 100
Aluminium. . .	20,33 —	Aluminium. . .	19,09 —
Chrome . . . .	39,79 —	Chrome . . . .	38,50 —
	<hr/> 100,08		<hr/> 98,44

Si l'on considère les chiffres de la dernière analyse, par exemple, et si on les rapporte aux poids atomiques respectifs des trois éléments, on a :

$$\text{Proportion de silicium} = \frac{40,85}{28} = 1,45;$$

$$\text{Proportion d'aluminium} = \frac{19,09}{27} = 0,70;$$

$$\text{Proportion de chrome} = \frac{38,50}{52,50} = 0,73;$$

et, en comparant ces chiffres entre eux :

$$\frac{\text{Si}}{\text{Al}} = \frac{1,45}{0,70} = 2,07, \text{ soit } 2 \text{ sensiblement};$$

$$\frac{\text{Si}}{\text{Cr}} = \frac{1,45}{0,73} = 1,98, \text{ soit } 2 \text{ sensiblement}.$$

La formule du composé sera donc :  $\text{Si}^2\text{AlCr}$ .

Elle exigerait les proportions suivantes, rapportées à 100 .

Silicium . . . . .	41,34
Aluminium . . . . .	19,92
Chrome . . . . .	38,74
	<hr/>
	100,00

REMARQUES. — 1° Le bioxyde de sodium a été utilisé, de même, comme réactif d'attaque des cristaux, concurremment avec les alcalins et avec le chlore ; les résultats ont été très satisfaisants.

2° Des préparations ont été effectuées sans précautions ; on utilisait des creusets ordinaires, non brasqués, et du sesquioxyde de chrome, tel que le fournit le commerce, manifestement impur. Les corps obtenus ne renfermaient que quelques traces de fer, ils s'épuraient vraisemblablement, au moment de la cristallisation.

### Silico-aluminure de molybdène.

Sa préparation a été réalisée de différentes façons : 1° suivant le mode général indiqué précédemment ; 2° en remplaçant la moitié du poids de fluorure double par autant de cryolithe ; 3° en substituant, au four Perrot, un four à gaz à récupération dont la température était plus élevée. Dans ce dernier cas, les cristaux ont été plus volumineux et, dans tous, le culot renfermait du silicium libre. L'oxyde de molybdène traité provenait du molybdate d'ammoniaque calciné.

L'isolement des cristaux s'effectuait au moyen de l'acide chlorhydrique au dixième. On séparait des aiguilles très brillantes, très allongées, qui pouvaient atteindre et même dépasser un demi-centimètre de longueur.

L'analyse se faisait à l'aide du chlore : les cristaux s'attaquaient au-dessous du rouge sombre, avec dégagement de vapeurs brunes et sans incandescence apparente. Après refroidissement, on entraînait tous les chlorures avec un jet d'alcool. L'insolubilisation avait lieu comme d'habitude ; la filtration qui la suivait laissait la silice souillée d'oxyde de molybdène. On lavait à l'eau pure d'abord, à l'aide de l'ammoniaque ensuite qui entraînait le molybdène. La liqueur ammoniacale

et celle renfermant l'aluminium étaient évaporées ensemble à siccité un certain nombre de fois, après addition d'acide azotique dont le rôle était de transformer la totalité du molybdène en acide molybdique. Ce résultat atteint, on dissolvait le tout dans le même acide; le carbonate d'ammoniaque, versé dans cette liqueur, précipitait l'aluminium et laissait l'acide molybdique que l'on plaçait dans les conditions convenables pour être précipité à l'état de molybdate mercurieux.

### RÉSULTATS

	I	II	Calculé pour $\text{Si}^2\text{AlMo}$
Silicium. . . . .	30,98 p. 100	31,07 p. 100	31,28
Aluminium. . . . .	14,92 —	14,27 —	15,09
Molybdène. . . . .	53,85 —	53,74 —	53,63
	<hr/> 99,75	<hr/> 99,08	<hr/> 100,00

Certains échantillons laissaient sur la nacelle, après le passage du chlore, un résidu noir très léger qui était constitué par du carbone en très faible quantité.

### Silico-aluminure de tungstène.

Dans la préparation de ce corps, on prenait du tungstate d'ammoniaque calciné et l'on remplaçait généralement une partie du fluorure double par un poids égal de cryolithe. De plus, afin d'atteindre une température encore plus élevée, on effectuait la réaction dans un four à vent. L'acide chlorhydrique bouillant, étendu au dixième environ, permettait d'isoler les cristaux de silicium et de silico-aluminure.

L'analyse s'opérait encore au moyen du chlore qui attaquait la matière, vers le rouge sombre, en produisant une vive incandescence. Il se déposait, dans le tube, des cristaux noirs de chlorure de tungstène, que l'on entraînait encore à l'aide de l'alcool. L'insolubilisation, effectuée en agitant le résidu à l'air, transformait la totalité de ce chlorure en acide tungstique. Il suffisait de reprendre par l'acide chlorhydrique et de filtrer pour obtenir une liqueur renfermant l'aluminium et un résidu constitué par la silice et l'acide tungstique. Des lavages à l'ammoniaque, sur le filtre, provoquaient la dissolution de ce corps.

à l'état de tungstate d'ammoniaque, qu'il suffisait ensuite de traiter par l'acide chlorhydrique pour en précipiter intégralement l'acide tungstique.

## RÉSULTATS

			Théorie pour $\text{Si}^2\text{AlTu}$ .
Silicium. . . . .	19,71 p. 100	19,60 p. 100	20,97
Aluminium. . . . .	9,63 —	9,84 —	10,42
Tungstène. . . . .	68,51 —	68,39 —	68,91
Carbone. . . . .	0,79 —	0,93 —	»
	<hr/> 98,64	<hr/> 98,76	<hr/> 100,00

Le carbone qui existait dans les cristaux doit être attribué au foyer utilisé dans leur préparation.

## Silico-aluminure d'uranium.

La préparation a été réalisée avec de l'uranate d'ammoniaque (calciné au préalable), avec de la cryolithe que l'on substituait parfois à une certaine quantité de fluorure double et enfin à l'aide d'un four Perrot ou d'un four à récupérateur, comme source de chaleur. Les cristaux, isolés par l'acide chlorhydrique, se trouvaient toujours disséminés dans du silicium.

**ANALYSE.** — *Par les alcalins.* — Le mélange de carbonate de soude et de nitre les attaque avec incandescence. On reprend le tout par l'acide azotique étendu; on évapore à sec, en présence d'acide chlorhydrique, et l'on insolubilise la silice à  $130^\circ$ . En traitant le résidu par l'acide chlorhydrique étendu, la silice reste. La solution, d'abord neutralisée par le carbonate d'ammoniaque, puis additionnée d'un excès de ce sel, est portée au bain-marie, pendant une heure : l'alumine est précipitée.

La liqueur, renfermant l'uranium, neutralisée par l'acide chlorhydrique et chauffée pour expulser le gaz carbonique, est additionnée d'ammoniaque, puis de sulphydrate d'ammoniaque. Par l'ébullition on forme un précipité d'oxyde d'uranium  $\text{UO}_2$ , mélangé de soufre, qu'on lave avec de l'eau chargée de sulphydrate. Le précipité est calciné d'abord à l'air libre, pour chasser le soufre, puis dans l'hydro-

gène. On obtient  $\text{UO}_2$  que l'on pèse. Les résultats sont fournis par les chiffres de la colonne I.

2° *Par le chlore.* — On attaque 0<sup>gr</sup>500 à 0<sup>gr</sup>600 de matière au maximum, sinon le tube s'obstrue. Elle y devient incandescente. Après refroidissement, on lave à l'alcool dans lequel le chlorure d'uranium est excessivement soluble; on insolubilise la silice, puis on peut opérer comme dans le cas précédent. Les résultats sont donnés par II et III.

### RÉSULTATS

	I	II	III	Calculé pour $\text{Si}^2\text{AlU}$ .
	—	—	—	—
Silicium . . .	17,48 p. 100	17,04 p. 100	17,92 p. 100	17,34
Aluminium . .	7,65 —	8,15 —	8,36 —	8,35
Uranium . . .	74,94 —	»	73,41 —	74,31
	<u>100,07</u>	<u>»</u>	<u>99,60</u>	<u>100,00</u>

Les cristaux ne renfermaient pas de carbone; ils étaient souillés par des traces de fer qui précipitaient en même temps que l'alumine.

### Silico-aluminure de vanadium.

Le vanadate d'ammoniaque calciné, mélangé à du fluorure double, parfois additionné de cryolithe, était porté au four Perrot, quelquefois au four à vent, avec les proportions indiquées d'aluminium. En traitant le culot par l'acide chlorhydrique, on isolait encore un mélange de silicium et de cristaux fort brillants de silico-aluminure.

L'analyse se réalisait au moyen du chlore qui attaquait le corps avec incandescence. Après insolubilisation de la silice, on reprenait par l'acide chlorhydrique étendu et l'on amenait la solution à occuper 250 centimètres. On prélevait 100 centimètres cubes qui servaient à titrer le vanadium volumétriquement par le permanganate de potasse à  $\frac{\text{N}}{20}$  environ. (Ce dernier était titré au moyen d'une solution de métavanadate d'ammoniaque.) Les 150 centimètres cubes restants permettaient le dosage de l'aluminium. A cet effet, on neutralisait par le carbonate d'ammoniaque, puis on additionnait la liqueur d'acétate

d'ammoniaque et d'un peu d'acide acétique. L'alumine précipitée était lavée à plusieurs reprises.

## RÉSULTATS

	I	II
Silicium . . . . .	44,49 p. 100	44,61 p. 100
Aluminium . . . . .	»	15,24 —
Vanadium . . . . .	42,04 —	42,72 —
Carbone. . . . .	»	0,97 —
	—	—
	»	103,54

Le total est trop élevé, pour deux raisons : 1° les cristaux contenaient du fer, qui compte comme vanadium ; 2° le carbone résiduel était imprégné de silice. De plus, le vanadate d'ammoniaque était suspect. Si, ces causes d'erreur disparaissant, on retombait sur les mêmes chiffres, il faudrait attribuer aux cristaux la formule  $\text{Si}^4\text{AlVa}^2$  qui exigerait : Si : 46,39 p. 100 ; — Al : 11,20 p. 100 : — Va : 42,41 p. 100.

## Silico-aluminure de titane.

Wœhler<sup>(1)</sup> préparait des alliages de silicium, d'aluminium et de titane avec le mélange suivant : acide titanique, cryolithe, chlorure de potassium, chlorure de sodium, aluminium. Il le chauffait, dans un creuset d'argile, à la température de fusion de l'argent ; s'il élevait la température jusqu'au point de fusion du nickel, la proportion de silicium augmentait dans son lingot.

En 1888, L. Lévy<sup>(2)</sup>, en chauffant au four Perrot, dans un creuset de biscuit, les mêmes substances, moins la cryolithe, formait un corps possédant la composition suivante :

	I	II
Silicium . . . . .	2,17	2,22
Aluminium . . . . .	70,92	71,20
Titane. . . . .	26,80	26,50
Pertes (C?) . . . . .	0,11	0,08
	—	—
	100,00	100,00

(<sup>1</sup>) WÖHLER, *Ann. der Chim. und Pharm.*, t. CXIII, p. 248.

(<sup>2</sup>) LÉVY, *Comptes rendus*, p. 66, année 1888.

Cet alliage serait, d'après l'auteur, un mélange  $\text{TiAl}^4.\text{SiAl}^4$  de deux corps isomorphes cristallisés ensemble.

Mes expériences diffèrent des précédentes en ce que j'introduis du silicium à l'état de fluorure double, tandis que cet élément leur est fourni par les parois de leur creuset. J'isole le composé, comme d'habitude, par des traitements alternés à l'acide chlorhydrique et à la soude en solutions étendues. Il s'élimine des cristaux de couleur foncée, relativement opaques, analogues au graphite, en grandes lamelles atteignant facilement un demi-centimètre dans leur plus grand diamètre.

Pour faire l'analyse, on les a attaqués soit par les alcalins (résultat I), soit par le chlore qui agissait en produisant une vive incandescence (résultats II, III, IV). Après insolubilisation et reprise par l'acide chlorhydrique, l'aluminium était dissous; on le précipitait par le carbonate d'ammoniaque. Le résidu, constitué par l'acide titanique et la silice, était soumis à l'ébullition dans l'acide sulfurique, qui dissolvait, peu à peu, l'acide titanique. On projetait ensuite dans un peu d'eau glacée : la silice précipitait. Quant à l'acide titanique resté en solution, il suffisait d'étendre et de faire bouillir pour le précipiter.

## RÉSULTATS

	I	II	III	IV
	—	—	—	—
Silicium. . . . .	43,92 p. 100	» p. 100	44,36 p. 100	43,72 p. 100
Aluminium. . .	42,05 —	42,14 —	43,04 —	42,74 —
Titane. . . . .	12,34 —	»	12,51 —	12,85 —
	<hr/> 98,31	<hr/> »	<hr/> 99,91	<hr/> 99,31

Dans toutes ces analyses, on trouve des traces de fer et de carbone.

Les séparations de ces trois éléments sont délicates; elles m'ont paru suffisamment exactes pour qu'on puisse attribuer à ce corps une formule très voisine de  $\text{Si}^6\text{Al}^6\text{Ti}$ , qui exige : Si : 44,44 p. 100; — Al : 42,86 p. 100; — Titane : 12,70 p. 100.

CONCLUSIONS ET REMARQUES. — 1° Le silicium et l'aluminium, incapables de se combiner isolément, pour former des *siliciures d'aluminium*, s'unissent, à la faveur d'un troisième élément, pour donner

naissance à des *siliciures d'aluminium et du métal*, autrement dit, à des *silico-aluminures*.

2° En réduisant, par l'aluminium, le fluorure double de silicium et de potassium, mélangé d'oxyde, j'ai réussi à préparer six silico-aluminures distincts, parfaitement cristallisés; j'ai pu établir la composition définitive de la plupart d'entre eux.

3° Quatre de ces corps répondent à la formule générale  $\text{Si}^2\text{AlM}'$  ( $\text{M}'$  bivalent); ce sont les composés correspondants de chrome, molybdène, tungstène, uranium. Il n'est pas impossible qu'ils possèdent même forme cristalline, comme un premier examen sommaire m'a semblé le montrer; il est même permis de prévoir la possibilité de réaliser, avec la plupart des métaux, toute une famille de corps semblables de formule et de forme, et qui constitueraient une première *série* de silico-aluminures.

4° D'autres silico-aluminures sont obtenus, en opérant de même; on peut citer ceux de fer, de nickel, de cobalt, de manganèse, de cuivre, par exemple. Comme ils s'attaquent plus facilement dans les milieux acides, voire même dans les liquides alcalins, leur isolement est rendu plus difficile et leur étude moins avancée.

5° D'autres méthodes concourent également à la formation des silico-aluminures: ainsi l'aluminium peut être chauffé avec le silicium et le métal mélangés; il peut être amené à réagir, par voie aluminothermique, soit sur des mélanges de silice et d'oxyde, soit sur des silicates, soit encore sur des minéraux tels que ceux du *genre grenat*, *silico-aluminates* naturels, vraisemblablement formés aux dépens des *silico-aluminures*.





# RECHERCHES

## SUR

# L'HELICOMYCELIUM FULIGINOSUM

Par M. E. DUBOURG

MAÎTRE DE CONFÉRENCES A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE BORDEAUX

### I

La moisissure que j'étudie dans ce mémoire a été extraite d'une traverse de chemin de fer vermoulue qui avait été injectée à la créosote ; le liquide n'avait pu pénétrer dans le bois central trop compact, et là seulement s'était développé le champignon (1).

M. Costantin, professeur au Muséum d'histoire naturelle, a bien voulu l'examiner au point de vue morphologique ; jusqu'à présent, il n'a pu réussir à la déterminer d'une manière précise, par suite des difficultés qu'on éprouve à obtenir des fructifications. Il propose néanmoins, mais à titre provisoire, de la désigner sous le nom que j'ai inscrit en tête de ce mémoire, en s'appuyant sur deux caractères principaux, la forme hélicoïdale fréquente des filaments mycéliens et l'apparence macroscopique fuligineuse de la moisissure.

J'ai moi-même essayé vainement d'obtenir des fructifications, même en gouttelettes pendantes légèrement alcalines, méthode qui a réussi pour d'autres moisissures du bois, les *Merulius*, par exemple. Ces dernières, très étudiées au point de vue morphologique, ont eu leur histoire biologique à peine ébauchée.

(1) Je remercie M. Chenevier, le savant directeur du laboratoire de la Compagnie du Midi, qui m'a apporté cette traverse et m'a fourni, en outre, de nombreux renseignements du plus vif intérêt.

## II

L'*Helicomycelium* se cultive très bien sur les milieux organiques ordinaires, liquides et solides, tels que eau de levure, bouillon Liebig, pommes de terre, gélatine et gélose nutritives, et elle est très peu exigeante, comme on pouvait le prévoir d'après ses habitats ordinaires. Elle ne se développe pas dans le liquide Raulin, même en réduisant l'acidité aux trois quarts. Dans les milieux les plus favorables, avec une acidité de 2 ‰ calculée en acide sulfurique, la culture languit notablement et le sucre consommé est à peine sensible, quelle que soit la nature des acides : tartrique, citrique, lactique, malique, succinique.

Quand le milieu est bien approprié et en faible épaisseur, la moisissure s'étale très vite à la surface du liquide, sous forme d'un mycélium peu épais, gris cendré d'abord ; peu à peu, ce mycélium se colore, brunit, et le liquide se colore également. La moisissure desséchée et pulvérisée en fin d'expérience présente l'apparence d'une poudre marron très foncé, presque noire.

Les tubes mycéliens, observés au microscope, incolores au début, apparaissent plus tard teintés de noir le long de leurs parois.

## III

L'alimentation hydrocarbonée de l'*Helicomycelium* n'est jamais très active. Dans un matras ordinaire, même en couche de liquide nutritif assez mince, la quantité de sucre disparu n'atteint jamais 20 grammes par litre en un mois. Dans une fiole de Fernbach, cependant, on peut obtenir une perte de 50 grammes, par le passage intermittent d'un courant d'air.

Quelque prolongée que soit la culture, on n'observe à aucun moment formation d'acidité fixe ou volatile, ni diminution de l'acidité initiale. La moisissure brûle donc la matière hydrocarbonée et non pas les acides.

En milieu non aéré, avec ou sans submersion du mycélium, il y a formation d'alcool en quantités variables ; la proportion ne dépasse guère 2 p. 100, et cet alcool disparaît péniblement sous l'influence d'un courant d'air. Il en reste encore dans le liquide de culture après aéra-

tion, sans qu'il soit possible de déterminer si cet alcool résiduel s'est formé pendant l'aération ou bien est resté non comburé.

L'*Helicomycelium* consomme toutes les hexoses ordinaires, mais avec des vitesses différentes, suivant l'échelle décroissante qui suit : mannose, glucose, lévulose, galactose. Des deux pentoses, qu'elle consomme également, le xylose est un aliment au moins égal, sinon supérieur au mannose, et cela ne saurait surprendre, étant données les origines du champignon.

Il est fort difficile d'établir un rendement comparatif des récoltes fournies par les divers éléments hydrocarbonés, la moisissure donnant, avec l'eau de levure seule, des poids de culture sensiblement aussi considérables que lorsqu'elle contient les sucres en dissolution. On peut cependant établir des différences, en prenant comme critérium les quantités de sucres disparus dans les mêmes milieux et aux mêmes températures.

En ce qui concerne les saccharides, l'*Helicomycelium* ne consomme que le maltose, le tréhalose, la dextrine et l'amidon. Ces hydrates de carbone disparaissent seuls en effet en culture, et seuls ils sont hydrolysés lorsqu'on fait agir sur leurs solutions aqueuses des liquides de culture filtrés et aseptisés. L'*Helicomycelium* ne sécrète donc ni sucrase, ni raffinase, ni lactase, ni inulase.

Déjà, en 1898 <sup>(1)</sup>, j'avais fait remarquer que « le *Mucor alternans* ne faisait fermenter que le maltose, le tréhalose et l'amidon, seuls saccharides donnant naissance, par hydrolyse, exclusivement à du glucose ». On peut ajouter au *Mucor alternans*, l'*Helicomycelium*, mais aussi, après vérification faite par moi, l'*Amylomyces Rouxii*, l'*Eurotiopsis Gayoni*, le *Mucor Javanicus*, le *Mucor Stolonifer*; et il est sans aucun doute beaucoup d'autres moisissures ayant les mêmes propriétés.

Il existe donc une série d'organismes incapables de consommer le saccharose, le raffinose, le lactose et l'inuline. Si l'on excepte le lactose, restant toujours dans une classe à part, il est intéressant de remarquer que l'hydrolyse des trois autres saccharides donne naissance à du fructose.

Récemment <sup>(2)</sup>, M. Pottevin, dans un remarquable travail, a classé les diastases hydrolysantes en quatre groupes principaux : sucrase,

<sup>(1)</sup> *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, février 1898.

<sup>(2)</sup> *Annales de l'Institut Pasteur*, janvier 1903.

maltase, émulsine, lactase. Les expériences de M. Pottevin ont été faites avec le *Mucor mucedo*, le *Mucor alternans* et le *Schizosaccharomyces octosporus*.

Mais, selon la théorie de Fischer, on peut pousser la différenciation des diastases hydrolysantes plus loin que ne l'a fait M. Pottevin. La sucrase et la raffinase ne sauraient plus être confondues depuis les recherches si intéressantes de M. H. Gillot<sup>(1)</sup>; on peut également affirmer une distinction entre la maltase et la tréhalase, tout d'abord parce que cette dernière est seule affaiblie par un chauffage préalable à 50°, ainsi que je l'ai vérifié; mais encore d'après cette indication que le microbe mannitique fait fermenter le maltose et ne fait pas fermenter le tréhalose. Il y a peu de temps, du reste, M. Bourquelot<sup>(2)</sup> a magistralement exposé les raisons qui militent de plus en plus en faveur de la théorie de Fischer.

Les autres hydrates de carbone (mannite, dulcité, sorbite, gommés diverses), les matières grasses, ne sont pas touchées, en apparence du moins, par l'*Helicomycelium*. Il y a toujours culture, puisque la moisissure se développe en eau de levure seule, mais le poids de l'extrait du liquide ne varie pas sensiblement, même après un mois.

Les glucosides naturels ne sont pas tous hydrolysés. En milieu nutritif, sont hydrolysés et le glucose consommé peu à peu : l'amygdaline, l'arbutine, l'hélicine et la salicine. La moisissure est sans action sur la conférine, la populine et le tannin. L'expérience répétée avec des solutions aqueuses des glucosides additionnées de liquides de culture antisepsés a donné les mêmes résultats. Peut-être parviendrait-on plus tard à individualiser les diastases des glucosides comme on l'a fait pour les saccharides.

Je n'ai pu mettre en évidence une sécrétion de cytase en ensemençant le champignon sur du papier, sur des carottes imprégnées de liquides nutritifs; mais la moisissure ensemencée dans du lait stérilisé le caille après quatre ou cinq jours. J'ai indiqué précédemment que, même en prolongeant les cultures, on n'observe pas formation d'acides fixes ou volatils; il me paraît donc vraisemblable que la coagulation observée est due à une présure.

(1) *Bulletin de l'Association des chimistes de sucrerie et de distillerie*, juin 1902.

(2) *Journal de pharmacie et de chimie*, mai 1903.

## IV

Comme le *Botrytis cinerea*, l'*Helicomycelium* sécrète abondamment de l'oxydase. Sa présence se révèle nettement vers le huitième jour de la culture et augmente notablement, surtout dans un matras *non aéré*: une culture aérée énergiquement, même lorsqu'elle est très riche en oxydase, s'affaiblit très vite et ne donne bientôt que des réactions douteuses.

Cette oxydase possède toutes les propriétés générales des diastases oxydantes; on peut vérifier toutes les réactions colorées obtenues par M. Bertrand avec sa laccase<sup>(1)</sup>.

Elle est sans action sur les solutions de tyrosine.

Au cours de ses remarquables recherches, M. Bertrand a maintes fois affirmé la présence *nécessaire* du manganèse pour que la laccase puisse exercer son action oxydante. Plus récemment, à propos de la formation du bolétol, le même savant ajoute la *nécessité* des alcalino-terreux.

M. Bertrand ayant toujours expérimenté avec des oxydases provenant de sucs végétaux n'a pas pu ne pas y trouver du manganèse. Ce métal en effet est aussi répandu dans la nature que le fer, aux doses près. Il n'existe pas de sucs animaux ou végétaux qui en soient exempts; on rencontre des plantes ou des parties de plantes sans oxydase, mais jamais sans manganèse, et j'ajouterai sans alcalino-terreux.

J'ai essayé de résoudre le point de doctrine soulevé par M. Bertrand au moyen de cultures d'*Helicomycelium* en milieu purement minéral.

Le liquide suivant est celui qui m'a donné les meilleurs résultats :

Glucose . . . . .	10 <sup>gr</sup>	par litre.
Sulfate d'ammoniaque. . . . .	1 <sup>gr</sup> 50	—
Phosphate bipotassique . . . . .	1 <sup>gr</sup> 50	—
Sulfate de magnésie. . . . .	0 <sup>gr</sup> 20	—
Chlorure de calcium. . . . .	0 <sup>gr</sup> 10	—

La culture est languissante; mais, après un mois, il s'est développé une quantité suffisante de mycélium pour que l'oxydase formée puisse être mise nettement en évidence par toutes les réactions caractéristiques.

(<sup>1</sup>) Grâce à la présence de l'oxydase, les solutions nutritives d'arbutine se colorent fortement et indiquent ainsi la formation d'hydroquinone provenant de l'hydrolyse du glucoside.

Or, en utilisant la réaction de Hoppe-Seyler, j'ai vérifié, en fin d'expérience, que ni la moisissure ni le liquide ne contenaient traces de manganèse. La quantité de liquide de culture était assez considérable pour que j'aie pu en utiliser un litre à ce contrôle. Ce litre de liquide, concentré, puis traité par l'acide sulfurique et l'acide azotique, jusqu'à destruction complète de la matière organique, a été repris après dernière incinération par 100 centimètres cubes d'eau distillée. Je n'ai observé aucune coloration avec la réaction de Hoppe-Seyler, même en examinant dans un tube de 1 mètre de longueur <sup>(1)</sup>.

Le manganèse ne paraît donc pas *nécessaire* dans les actions oxydantes d'ordre physiologique, pas plus que les acides dilués et les phosphates acides dans l'hydrolyse du saccharose et dans celle de l'amidon. Toutefois, c'est un favorisant, comme ces composés chimiques, et un favorisant très énergique des oxydases.

Mais il est d'autres sels que ceux de manganèse, quelques-uns assez inattendus, dont la présence exalte aussi les propriétés de l'oxydase.

Introduisons dans une série de ballons 50 centimètres cubes de liquide de culture d'*Helicomycelium* filtrée, contenant 1<sup>re</sup> 50 % d'hydroquinone en dissolution; versons respectivement dans chacun d'eux une dissolution des composés ci-après, de telle sorte que la proportion soit de 1 p. 1000 dans le liquide mis en expérience; mesurons, après 24 heures, les volumes d'oxygène absorbé, et nous aurons le tableau suivant, en représentant par 10 le chiffre obtenu avec le témoin :

	Volume d'oxygène absorbé
Témoin . . . . .	10
Acide azotique . . . . .	9
Acide sulfurique . . . . .	4
Acide phosphorique . . . . .	13
Acide tartrique . . . . .	14
Sulfate de magnésie . . . . .	18
Phosphate bi-potassique . . . . .	24
Nitrate de potasse . . . . .	22
Sulfate de manganèse . . . . .	27

Les chiffres varient d'une expérience à l'autre, les volumes de gaz absorbé augmentent ou diminuent avec les doses des composés

<sup>(1)</sup> Dans les conditions où j'ai opéré, la réaction de Hoppe-Seyler permet de déceler aisément un millionième de manganèse.

chimiques introduits, mais la physionomie générale du phénomène s'est toujours maintenue constante.

L'expérience précédente démontre que les phosphates et les nitrates sont des favorisants presque aussi énergiques que le sulfate de manganèse.

Sans aucun doute, comme le démontrent les expériences de Bertrand, d'autres sels de manganèse seraient plus énergiques encore, mais il semble bien, d'après ce que nous venons d'observer, que la présence de ce métal n'est pas d'une nécessité absolue dans les actions oxydantes d'ordre physiologique. Si donc le squelette minéral des diastases peut et doit avoir une influence notable, il ne paraît pas jouer un rôle capital.

## V

J'ai indiqué dès le début de cette étude que l'*Helicomycelium* ne paraissait brûler l'alcool que très imparfaitement. Depuis longtemps, on a affirmé, M. Cazeneuve en particulier, que les vins cassables, par conséquent riches en oxydase, contenaient des aldéhydes en quantité notable. On pouvait se demander si l'une des causes de l'arrêt de la combustion de l'alcool, dans les cultures d'*Helicomycelium*, ne proviendrait pas de l'accumulation des produits aldéhydiques formés par l'oxydase; il était donc intéressant de vérifier si la formation de ces aldéhydes était d'origine physiologique et en relation avec la sécrétion d'une diastase oxydante.

La présence des aldéhydes dans les fermentations a été signalée par M. Pasteur le premier. Tout récemment, M. Trillat<sup>(1)</sup> indiquait que l'aération de l'alcool, sa distillation pratiquée dans des récipients en cuivre, le contact avec des corps poreux, comme le bois, sont des facteurs de cette oxydation.

Les remarques qui précèdent sont vérifiées par l'expérience. La formation des produits aldéhydiques dans les liquides fermentés n'est pas un phénomène physiologique.

Prenons un liquide de culture d'*Helicomycelium* et aussi des milieux de fermentation divers avec des moisissures et des levures variées<sup>(2)</sup>: une

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, janvier 1903.

(2) J'ai essayé avec des cultures de : *Aspergillus niger*, *Aspergillus orizæ*, *Penicillium glaucum*, *Aspergillus glaucus*, *Amylomyces*, *Eurotiosis*, *Mucor alternans*, *Mucor Javanicus*, *Mucor stolonifer*. Levures : Pombe, *Farinosus*, *Monilia candida*, *Monilia variabilis*, *Marxianus*, *Exiguus*, et trois levures de vin : Médoc, Sauternes, Champagne.



première partie du liquide sera largement aérée, c'est-à-dire introduite dans un très grand matras; une deuxième partie sera également aérée, après avoir été portée à 60°, en vase clos, pour tuer les ferments; et, enfin, on opérera de même avec du liquide porté à 85°, pendant une heure, pour détruire les oxydases.

Qu'il s'agisse d'*Helicomycelium* ou d'autres moisissures et levures, la proportion des produits aldéhydiques formés reste sensiblement la même, dans tous les cas, et ne dépend que des conditions physiques de l'expérience, grandeur du matras, étendue des surfaces, agitations plus ou moins répétées. Si les matras des témoins chauffés à 85° sont plus grands, la proportion d'aldéhydes est plus élevée, et toujours sans relation avec la teneur en alcool (1).

Il arrive même d'une manière assez inattendue que les cultures des organismes sécréteurs d'oxydase en contiennent moins que les cultures des moisissures n'en sécrétant pas, du moins en apparence.

On en trouve, en effet, de très faibles quantités dans les fermentations acétiques, un peu plus dans les cultures de *Mycoderma vini*, mais moins qu'avec certaines espèces de levures. De même, avec les moisissures ordinaires, des cultures introduites et aérées dans des matras sensiblement de même grandeur, fournissent des proportions de produits aldéhydiques supérieures à celles des liquides provenant des milieuxensemencés avec l'*Helicomycelium*. Et, comme corollaire de l'observation précédente, les vins cassables en contiennent toujours moins que les vins normaux.

En résumé, la formation des produits aldéhydiques, dans les liquides fermentés, doit être rangée parmi les phénomènes purement chimiques.

## VI

En terminant, je rapporterai les essais que j'ai tentés concernant l'influence de divers antiseptiques sur le développement de l'*Helicomycelium*.

Dans le tableau qui suit, le signe + indique qu'il y a eu culture, le signe — que la dose d'antiseptique a été suffisante pour empêcher le développement du champignon.

(1) En maintenant ces liquides de fermentation dans de grands matras, pendant plusieurs jours, à l'abri des germes de l'air, on peut observer l'accumulation de produits aldéhydiques sans augmentation d'acidité volatile; la dose peut dépasser 250 milligrammes par litre en un mois.

DOSES D'ANTISEPTIQUES	SUBLIMÉ	SULFATE DE CUIVRE	S. NITRATE DE BISMUTH	FLUORURE DE POTASSIUM	THYMOL	PHÉNOL	NAPHTALINE	CRÉOSOTE (1)	CARBOLINEUM (2)	ARSÉNITE DE POTASSE	ACIDE SALICYLIQUE
1/1000 <sup>e</sup> . .	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
1/500 <sup>e</sup> . . .	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-
1/200 <sup>e</sup> . . .	-	+	+	+	-	+	-	-	-	+	-
1/100 <sup>e</sup> . . .	-	+	+	+	-	-	-	-	-	+	-
1/50 <sup>e</sup> . . . .	-	+	+	+	-	-	-	-	-	+	-
1/20 <sup>e</sup> . . . .	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-
1/10 <sup>e</sup> . . . .	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-

(1) Les créosotes employées contenaient 10 p. 100 de phénol et 18 p. 100 de naphthaline.

(2) Le carbolineum est une huile lourde de houille sans naphthaline ni phénol.

Ce tableau nous suggère les réflexions suivantes : Remarquons d'abord que certains antiseptiques réputés excellents vis-à-vis d'autres organismes sont impuissants à arrêter une culture d'*Helicomycelium*. L'expérience est particulièrement intéressante avec le sulfate de cuivre, qui est très employé pour la conservation du bois. On ne saurait être surpris que la moisissure se développe dans un milieu contenant 1 p. 100 de ce sel; on en connaît d'autres qui supportent des doses plus élevées. Du reste, d'après les renseignements qu'a bien voulu me fournir M. Chenevier, les quantités de sulfate de cuivre injectées sont telles qu'elles correspondent à 1 p. 100 environ. On retrouve, en effet, ce chiffre comme minimum à l'analyse, après incinération d'une traverse récemment injectée.

L'action nocive du phénol et de la naphthaline explique l'emploi de la créosote pour l'injection des bois; mais le carbolineum se montre cependant aussi actif malgré l'absence des deux éléments principaux qu'on exige d'habitude dans les créosotes.

Pour résoudre le problème pratique de la conservation du bois, il serait nécessaire d'instituer des expériences sur des traverses injectées par des antiseptiques divers, et placées sous terre, après avoir été pour ainsi dire inoculées avec de la moisissure.

Il est vraisemblable que les produits injectés n'agissent pas seulement comme antiseptiques, car les bois résistent longtemps alors que les composés chimiques divers ont été entraînés par les pluies. Ce phénomène vaudrait d'être étudié de près.

Il sera intéressant de poursuivre également l'étude de traverses non injectées envahies par la moisissure et de dégager les transformations diverses que l'*Helicomycelium* aura provoquées dans le bois. Ce sera la matière d'un travail ultérieur.

# DU POLYMORPHISME DES SPERMATOZOÏDES

Par M. A. GRUVEL

MAÎTRE DE CONFÉRENCES A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE BORDEAUX

Dans la généralité des cas, tous les spermatozoïdes mûrs, d'une même espèce animale, sont identiques de formes et de dimensions. Pendant longtemps on n'a connu qu'une seule exception à cette règle, c'était celle de la Paludine (*Paludina vivipara*), signalée par von Siebold. Dans cette espèce, on trouve, en effet, à côté des éléments ordinaires, filiformes, à tête épaisse et spiroïde, des zoospermes plus longs, vermiformes, se terminant à l'une de leurs extrémités par plusieurs filaments très fins et qui sont incapables de fécondation.

Puis un dimorphisme à peu près identique fut signalé chez certains Rotateurs (*Notommata Sieboldii*), chez un Crustacé (*Asellus aquaticus*), etc.

Depuis lors, cette variation morphologique curieuse des spermatozoïdes a été reconnue dans plusieurs autres groupes.

Chez l'*Ascaris megalocephala*, il existe même, d'après les auteurs, quatre formes de spermatozoïdes, dont trois seulement sont aptes à féconder.

Quelques insectes (*Pygæra bucephala* et *Staphylinus*) présentent également des spermatozoïdes de deux formes différentes. Enfin, tout récemment, Voïnov a signalé des faits identiques chez le *Cybister Rasselii*. Il a trouvé, en effet, dans cette espèce, deux sortes de spermatozoïdes, mais il a reconnu en outre que ces formes, morphologiquement et probablement biologiquement différentes, répondent à deux spermatogénèses distinctes.

Les deux processus sont différents, et ne se produisent pas aux mêmes époques de l'année. Mais parmi les représentants d'une lignée se trouvent toujours des représentants avortés de l'autre.

Grâce à l'aimable hospitalité que M. Ed. Perrier, directeur du Muséum d'Histoire naturelle, a bien voulu m'accorder cette année au laboratoire de Tatihou et dont je tiens à le remercier bien sincèrement ici, il m'a été permis d'observer un phénomène semblable à celui dont je viens de parler, chez un Cirrhipède très commun dans la région (*Balanus perforatus*, Brug.).

Cette espèce se présente aux environs de Saint-Vaast, dans trois conditions différentes : à la pointe de Barfleur, sur les rochers qui sont situés au pied même du phare de Gatteville, ces Balanes sont répandues par milliers et forment des couches de plusieurs centimètres d'épaisseur. C'est dire, par là même, que la fécondation réciproque est on ne peut plus facile dans ces conditions.

Sur les rochers nord de Tatihou, on retrouve cette même espèce, mais en bien moins grand nombre et surtout extrêmement localisée, dans les fissures des grosses masses de rochers. Au lieu de se toucher, elles sont, au contraire, en général, distantes les unes des autres de plusieurs centimètres. Grâce à cette disposition, la fécondation réciproque devient impossible; il ne peut évidemment y avoir qu'autofécondation ou fécondation à distance par des spermatozoïdes libres dans le milieu ambiant.

Enfin, sur les rochers de Saint-Marcouf, à l'est de Tatihou, se trouvent de profondes fissures où l'on rencontre beaucoup d'espèces et en particulier de très beaux échantillons de ce même *Balanus perforatus*. Ils sont assez rares et, par conséquent, séparés les uns des autres par des distances de un ou même plusieurs mètres. C'est là, évidemment, une condition qui ne permet, comme dans le second cas, que l'autofécondation ou bien la fécondation à distance.

Voyons maintenant comment sont constitués les spermatozoïdes dans les divers cas que je viens de citer.

Chez tous les échantillons mûrs de *Balanus perforatus*, qu'ils soient isolés ou agglomérés, on trouve une forme normale de spermatozoïdes, identique chez tous.

Comme la masse spermatique, quand elle est encore dans les canaux déférents ou qu'elle vient d'être déposée au voisinage des orifices femelles, est constituée par une substance compacte, gluante, dans

laquelle les spermatozoïdes sont répandus en nombre très considérable, il est difficile d'étudier ces éléments sans un artifice de préparation, en plaçant simplement une goutte de cette substance sur une lame.

Mais, comme les spermatozoïdes de tous les Cirrhipèdes peuvent vivre pendant un certain temps dans l'eau de mer, il faut en conclure que ce milieu est, pour eux, un milieu isotonique. Il est donc possible de diluer la matière fécondante dans une goutte d'eau de mer, sans déformer ces éléments et de les étudier ainsi plus facilement soit à l'état vivant soit après fixation par un réactif approprié, comme les vapeurs d'acide osmique, par exemple.

Dans ces conditions, les spermatozoïdes normaux se montrent sous la forme de petits éléments allongés, filiformes, de près de  $50\mu$  de longueur, présentant, un peu avant leur extrémité antérieure, une partie un peu plus renflée, mais allongée et formant la tête. En avant de la tête se trouve un prolongement ou *ligelle* d'environ  $8\mu.5$  de long qui se termine en pointe fine. La tête elle-même mesure  $10\mu$ . Elle est suivie d'un long prolongement caudal, de diamètre à peu près uniforme jusque près de sa terminaison; mais, à ce point, il se rétrécit brusquement pour former un filament extrêmement fin, à peine visible.

L'extrême petitesse de ces éléments ne permet pas d'en étudier facilement la constitution, même à l'aide des réactifs colorants et de très forts grossissements.

Il faut donc avoir recours à un artifice de préparation! Si, après avoir dilué un peu de matière fécondante dans de l'eau de mer, on y ajoute une très petite quantité d'eau distillée, on transforme le milieu isotonique primitif en un milieu anisotonique, d'autant plus différent du premier que la quantité d'eau distillée ajoutée est plus considérable.

Si l'on suit au microscope la réaction des spermatozoïdes dans un tel milieu, on voit la tête qui se gonfle peu à peu par osmose et prend, finalement, une forme absolument sphérique. Si le milieu est légèrement anisotonique, cette sphère conserve sa forme; s'il l'est trop, le gonflement continue et la sphère éclate.

On peut, dans les deux cas, fixer légèrement aux vapeurs osmiques et colorer par un réactif approprié, tel, par exemple, que le bleu polychrome de Unna qui m'a donné d'excellents résultats.

Les spermatozoïdes se montrent alors constitués de la façon suivante: la tête, absolument sphérique, est colorée uniformément en bleu clair si

l'enveloppe ou coiffe est très mince, ce qui est le cas général; mais parfois, la partie centrale seule est colorée en bleu, tandis que l'enveloppe périphérique, plus ou moins épaisse, reste incolore. En avant de la tête, la tigelle reste incolore, tandis que sur sa périphérie et formant une ligne méridienne plus ou moins sinueuse, la queue, très fortement colorée en bleu foncé, semble attachée sur le côté de la sphère. La queue présente à peu près le même diamètre et exactement la même coloration jusqu'à son extrémité postérieure, où commence le filament caudal.

Ce dernier reste totalement incolore, et tandis que, dans le milieu isotonique, il paraît simple, ici, au contraire, sous l'influence de l'eau douce, je l'ai vu, dans plusieurs cas, se dédoubler en deux filaments extrêmement grêles et fort difficiles à suivre.

Lorsque les phénomènes osmotiques deviennent trop puissants, la coiffe se rompt, toute la partie centrale s'échappe et il reste, attachée à la queue, la coiffe absolument incolore.

Le filament spiral de la queue n'existe pas dans ces éléments, et il m'a été impossible, avec les divers réactifs que j'ai employés, de déceler la présence du spermocentre, que la coupe optique de la queue simule, parfois, en avant de la tête.

Tels sont les caractères communs à tous les spermatozoïdes normaux appartenant à cette espèce de Balane, quelle que soit la région où les individus ont été pris.

Dans les exemplaires de grande taille recueillis à Saint-Marcouf, j'ai pu observer une forme sensiblement différente d'aspect et surtout de taille beaucoup plus considérable, puisqu'elle atteint environ quatre fois celle de la forme normale.

Ces formes géantes sont extrêmement rares, et je ne les ai rencontrées que quatre fois, exclusivement dans les exemplaires recueillis à Saint-Marcouf.

Examinés en milieu isotonique, ces éléments ne diffèrent des éléments normaux, sauf la taille, que par une tête plus globuleuse et surtout moins allongée dans le sens de la longueur. En milieu très légèrement anisotonique, après fixation aux vapeurs osmiques et coloration au bleu de Unna, ils présentent des caractères sensiblement différents de ceux des premiers.

C'est la tête surtout qui mérite de retenir notre attention. Sa forme est un peu celle d'un ovoïde dont la grosse extrémité correspondrait

au côté de la queue, tandis que l'autre, plus fine, est libre. Sur la capsule incolore court la queue qui forme à sa surface une sorte de huit de chiffre, allant d'abord jusqu'au sommet libre, puis revenant du côté opposé vers la grosse extrémité, où elle se termine insensiblement et disparaît enfin à peu près au niveau de son point de départ.

C'est vers cette région où la queue s'évanouit, c'est-à-dire vers le gros bout de l'ovoïde et dans la région postérieure, que l'on aperçoit, très distinctement, un corps petit, rond, réfringent et coloré en bleu aussi fortement que la partie libre de la queue. La position de ce corpuscule ne varie que faiblement et sa présence est constante chez toutes ces formes géantes de spermatozoïdes. C'est là, évidemment, le spermocentre que nous n'avons pas trouvé dans les éléments normaux.

Ces formes géantes nous permettent encore de voir que la tigelle n'est pas un prolongement direct de la queue, mais bien de la coiffe, ainsi que cela se distingue très nettement.

Enfin, la queue, très colorée, se continue aussi par un filament terminal incolore, mais dans lequel je n'ai pas observé la segmentation en deux, comme dans le premier cas.

Tandis que la tête des éléments normaux mesure environ  $10\ \mu$  de long, celle de ces formes géantes mesure  $40\ \mu$ .

Ce sont là les deux dimensions extrêmes.

Dans les exemplaires de *Balanus perforatus* recueillis à Barfleur, où ces animaux sont en nombre immense, ainsi que dans ceux récoltés au nord de Tatihou, où leur nombre est restreint mais où ils sont assez localisés et, par conséquent, assez peu éloignés en général les uns des autres, j'ai rencontré, outre la forme normale, non pas des éléments géants comme ceux que je viens de décrire, mais des formes intermédiaires comme grandeur, c'est-à-dire dont la tête ne dépasse guère  $20\ \mu$ , soit environ le double du type normal.

À côté de cette espèce, j'ai étudié des échantillons de *Balanus balanoides*, L. Cette espèce est extrêmement commune dans toute la région et les individus très rapprochés les uns des autres, si même ils ne sont pas absolument accolés, comme c'est le cas le plus fréquent.

Dans ces conditions, la fécondation réciproque est toujours possible.

Dans cette espèce je n'ai pas rencontré de formes géantes de spermatozoïdes comme dans *B. perforatus*. Les éléments normaux, qui existent seuls, diffèrent assez peu en somme de ceux que nous avons précédemment décrits.



La forme générale du spermatozoïde est plus élancée, sa longueur totale atteint 65  $\mu$ . environ, au lieu de 45 à 50. La tigelle et la tête sont à peu près de mêmes dimensions, mais la queue est plus allongée et plus fine.

Au point de vue de la structure, la tête diffère assez sensiblement de celle du spermatozoïde de *B. perforatus*. La coiffe, extrêmement mince, renferme une substance granuleuse qui, par le bleu de Unna, se colore en bleu pâle, exactement comme nous l'avons déjà vu pour *B. perforatus*. Mais on trouve, de plus, à l'intérieur de cette masse, un gros corpuscule très fortement coloré et qui est le noyau de l'élément, d'un diamètre égal au tiers, parfois même à la moitié de celui de la tête.

Il m'a été aussi, dans cette espèce, impossible de voir le spermo-centre.

Dans beaucoup de cas, il semble que, quand il y a dimorphisme ou polymorphisme des éléments sexuels mâles, une seule dans le premier cas, deux ou trois seulement dans le second sont capables de fécondation.

Ainsi, par exemple, chez les Gastéropodes prosobranches *unisexuals* qui présentent ce phénomène, les spermatozoïdes normaux sont seuls susceptibles de féconder les œufs; les autres, gros, allongés, vermiculaires, entrent en dégénérescence et disparaissent peu à peu au moment où ils semblent devoir atteindre leur maturité.

Chez l'*Ascaris megalcephala*, nous avons vu que trois formes seulement sur quatre sont capables de fécondation.

Voïnov ne dit rien à ce sujet à propos du *Cybister Ræselii*; mais, d'après sa note, il semble que les deux formes soient aptes à la fécondation.

Étant donnée la rareté des spermatozoïdes géants chez les Cirrhipèdes que j'ai étudiés, il m'a été impossible de voir si les deux formes répondaient à des processus différents de spermatogénèse.

J'ai cherché à mettre en lumière la coïncidence qui existe entre la production des formes géantes de spermatozoïdes et l'éloignement plus ou moins grand qui existe entre les échantillons examinés. On a vu que, seulement dans les individus très éloignés les uns des autres, on trouve les formes géantes.

Il semblerait résulter de ces observations que, au moins dans le cas particulier qui nous occupe, les formes géantes de spermatozoïdes

soient peut-être adaptées à la fécondation réciproque à distance. Leur grande taille leur permet peut-être de se mouvoir plus rapidement dans le milieu ambiant et aussi de résister plus longtemps aux influences diverses de ce milieu, qui, bien qu'isotonique, ne leur est cependant pas extrêmement favorable.

Il est bien évident, comme le dit Voïnov, que deux formes morphologiquement si différentes doivent répondre à une cause et surtout à un rôle biologique déterminé!

L'ensemble des faits que je viens de signaler semble justifier l'hypothèse émise plus haut, mais il serait intéressant, pour la confirmer ou l'infirmer, de voir s'il en est de même dans les espèces aquatiques chez lesquelles la fécondation directe et réciproque ne pouvant pas toujours avoir lieu, cette fécondation peut se faire à certains moments par l'intermédiaire de spermatozoïdes différents des autres et capables de se porter d'un point à un autre dans le milieu ambiant.



# LEÇON

SUR LES

## CHANGEMENTS DE VARIABLES

Par M. A. FÉRAUD

PROFESSEUR ADJOINT A LA FACULTÉ DES SCIENCES  
DE BORDEAUX

---

1. — L'introduction des déterminants fonctionnels dans la théorie des changements de plusieurs variables indépendantes permet de rendre cette théorie complètement semblable à celle des changements d'une seule variable indépendante.

C'est ce parallélisme que je m'efforcerai de faire ressortir dans l'exposition suivante.

Dans cette exposition, on rencontrera à côté de propositions connues quelques extensions qui se présentent comme conséquences directes des méthodes suivies.

Relativement aux changements d'une seule variable indépendante, les deux problèmes qui se posent sont les suivants :

PROBLÈME I. — Soit  $y$  une fonction de la variable indépendante  $x$ . On suppose  $x$  défini au moyen de  $t$  par la relation  $x = \varphi(t)$ . Dès lors,  $y$  peut être considéré comme fonction de la variable  $t$ . On demande d'exprimer les dérivées successives de  $y$  par rapport à  $x$  au moyen de  $t$  et des dérivées successives de  $y$  par rapport à  $t$ .

Les dérivées successives des fonctions  $x$  et  $y$  de  $t$  par rapport à la variable  $t$  seront représentées par  $x', x'', x''', \dots, x^{(n)}, \dots; y', y'', y''', \dots, y^{(n)}, \dots$ . La dérivation d'une fonction quelconque de  $t$  par rapport  $t$  sera indiquée par un accent.

Les dérivées successives de la fonction  $y$  de  $x$  par rapport à la variable  $x$  seront représentées, suivant la notation différentielle, par  $\frac{dy}{dx}, \frac{d^2y}{dx^2}, \frac{d^3y}{dx^3}, \dots, \frac{d^ny}{dx^n}, \dots$

On a l'identité

$$\frac{dy}{dx} = \frac{dy}{dt} \times \frac{dt}{dx}$$

qui donne

$$(1) \quad \frac{dy}{dx} = \frac{dy}{dt} \times \frac{1}{\frac{dx}{dt}} = y' \times \frac{1}{x'}.$$

La dérivée seconde de  $y$  par rapport à  $x$  s'obtient donc en multipliant la dérivée de  $y$  par rapport à  $t$  par l'inverse de la dérivée de  $x$  par rapport à  $t$ .

La dérivée seconde de  $y$  par rapport à  $x$   $\frac{d^2y}{dx^2}$ , qui par définition est

égale à  $\frac{d\left(\frac{dy}{dx}\right)}{dx}$ , est comparable à  $\frac{dy}{dx}$ , si l'on fait jouer à  $\frac{dy}{dx}$  le rôle que joue  $y$  dans cette dernière dérivée. Remarquant d'ailleurs que  $\frac{dy}{dx}$  est exprimé au moyen de  $t$  par la formule (1) et appliquant la règle qui vient d'être énoncée, on a

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \left(y' \times \frac{1}{x'}\right)' \times \frac{1}{x'}.$$

On obtiendra de la même manière

$$\frac{d^3y}{dx^3} = \left[\left(y' \times \frac{1}{x'}\right)' \times \frac{1}{x'}\right]' \times \frac{1}{x'},$$

et ainsi on pourra exprimer toutes les dérivées de  $y$  par rapport à  $x$  par une notation symbolique qui apparaît immédiatement.

Les  $n$  premières expressions ainsi obtenues peuvent être considérées comme des relations entre  $\frac{dy}{dx}, \frac{d^2y}{dx^2}, \dots, \frac{d^ny}{dx^n}; y', y'', \dots, y^{(n)}; x', x'', \dots, x^{(n)}$  résolues par rapport aux  $n$  premières quantités.

On peut se proposer d'obtenir les résultats que l'on déduirait de ces relations en les résolvant par rapport à  $y'$ ,  $y''$ , ...,  $y^{(n)}$ , et cela sans passer par leur intermédiaire, c'est-à-dire d'exprimer les dérivées successives de  $y$  par rapport à  $t$  au moyen de  $t$  et des dérivées successives de  $y$  par rapport à  $x$ .

De l'identité

$$\frac{dy}{dt} = \frac{dy}{dx} \times \frac{dx}{dt}$$

on déduit

$$y' = \frac{dy}{dx} \times x'.$$

La dérivée de  $y$  par rapport à  $t$  s'obtient donc en multipliant la dérivée de  $y$  par rapport à  $x$  par la dérivée de  $x$  par rapport à  $t$ .

Dérivant les deux membres par rapport à  $t$ , on obtient

$$y'' = \frac{d\left(\frac{dy}{dx}\right)}{dt} x' + \frac{dy}{dx} x''.$$

Appliquant à la dérivée  $\frac{d\left(\frac{dy}{dx}\right)}{dt}$  la règle énoncée plus haut, nous avons finalement

$$y'' = \frac{d^2 y}{dx^2} x'^2 + \frac{dy}{dx} x''.$$

On obtiendra de même  $y'''$  en prenant la dérivée par rapport à  $t$  des deux membres de la relation ci-dessus et en appliquant de nouveau la règle précédente

$$y''' = \frac{d\left(\frac{d^2 y}{dx^2}\right)}{dt} x'^2 + 2 \frac{d^2 y}{dx^2} x' x'' + \frac{d\left(\frac{dy}{dx}\right)}{dt} x'' + \frac{dy}{dx} x'''$$

$$y''' = \frac{d^3 y}{dx^3} x'^3 + 3 \frac{d^2 y}{dx^2} x' x'' + \frac{dy}{dx} x'''.$$

L'expression de la dérivée  $n^{\text{ème}} y^{(n)}$  donnée par Faa de Bruno (*Quarterly Journal of Mathematics*, t. I, p. 359) est

$$y^{(n)} = \sum \frac{n!}{i! j! h! \dots k!} \frac{d^p y}{dx^p} \left(\frac{x'}{1}\right)^i \left(\frac{x''}{1 \cdot 2}\right)^j \left(\frac{x'''}{1 \cdot 2 \cdot 3}\right)^h \dots \left(\frac{x^{(l)}}{1 \cdot 2 \cdot \dots \cdot l}\right)^k;$$

le signe  $\Sigma$  étant étendu à toutes les solutions en nombres entiers et positifs de l'équation  $i + 2j + 3h + \dots + lk = n$ , et  $p$  étant égal à  $i + j + h + \dots + k$ .

**PROBLÈME II.** — Soit  $y$  une fonction de la variable indépendante  $x$ . On suppose  $y$  et  $x$  définis au moyen de  $t$  et de  $u$  par les relations  $x = \varphi(t, u)$ ,  $y = \psi(t, u)$ . Dès lors,  $u$  peut être considéré comme une fonction de  $t$ . On demande d'exprimer les dérivées successives de  $y$  par rapport à  $x$  au moyen de  $t$  et de  $u$  et des dérivées successives de  $u$  par rapport à  $t$ .

Nous partons encore des relations

$$\frac{dy}{dx} = \frac{dy}{dt} \times \frac{dt}{dx} = \frac{dy}{dt} \times \frac{1}{\frac{dx}{dt}}.$$

Les deux facteurs du dernier membre s'expriment immédiatement par les relations données au moyen de  $t$  et de  $u$ , et des dérivées de  $u$  par rapport à  $t$ ; il suffit de prendre la dérivée de ces relations par rapport à  $t$ , on a alors

$$(2) \quad \frac{dy}{dx} = \frac{\frac{\partial \psi}{\partial t} + \frac{\partial \psi}{\partial u} \frac{du}{dt}}{\frac{\partial \varphi}{\partial t} + \frac{\partial \varphi}{\partial u} \frac{du}{dt}}.$$

La dérivée seconde  $\frac{d^2 y}{dx^2}$ , qui par définition est égale à  $\frac{d\left(\frac{dy}{dx}\right)}{dx}$ , est comparable à  $\frac{dy}{dx}$ , si dans la première expression on fait jouer à  $\frac{dy}{dx}$  le rôle que joue  $y$  dans la seconde.  $\frac{dy}{dx}$  étant exprimé au moyen de  $t$  et de  $u$  et de  $\frac{du}{dt}$  par la relation (2), comme  $y$  était exprimé au moyen de  $t$  et de  $u$  par l'une des relations données, on voit que les calculs que l'on vient de faire peuvent être reproduits en partant des identités

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{d\left(\frac{dy}{dx}\right)}{dx} = \frac{d\left(\frac{dy}{dx}\right)}{dt} \times \frac{1}{\frac{dx}{dt}},$$

et l'on obtient ainsi

$$\frac{d^2 \gamma}{dx^2} = \frac{\left(\frac{\partial \varphi}{\partial t} + \frac{\partial \varphi}{\partial u} \frac{du}{dt}\right) \left[ \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} + 2 \frac{\partial^2 \psi}{\partial u \partial t} \frac{du}{dt} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial u^2} \left(\frac{du}{dt}\right)^2 + \frac{\partial \psi}{\partial u} \frac{d^2 u}{dt^2} \right] - \left(\frac{\partial \psi}{\partial t} + \frac{\partial \psi}{\partial u} \frac{du}{dt}\right) \left[ \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} + 2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial u \partial t} \frac{du}{dt} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial u^2} \left(\frac{du}{dt}\right)^2 + \frac{\partial \varphi}{\partial u} \frac{d^2 u}{dt^2} \right]}{\left(\frac{\partial \varphi}{\partial t} + \frac{\partial \varphi}{\partial u} \frac{du}{dt}\right)^2}$$

La dérivée  $n^{\text{ème}}$  de  $\gamma$  par rapport à  $x$  s'exprimera au moyen de  $t$  et de  $u$  et des  $n$  premières dérivées de  $u$  par rapport à  $t$ .

Soient  $f_1, f_2, \dots, f_n$   $n$  fonctions des variables indépendantes  $x_1, x_2, \dots, x_n$ . Supposons  $x_1, x_2, \dots, x_n$  définis au moyen des variables  $t_1, t_2, \dots, t_n$ . Alors  $f_1, f_2, \dots, f_n$  pourront être considérés comme des fonctions de  $t_1, t_2, \dots, t_n$ . Je rappelle la formule

$$\frac{D(f_1, f_2, \dots, f_n)}{D(x_1, x_2, \dots, x_n)} = \frac{D(f_1, f_2, \dots, f_n)}{D(t_1, t_2, \dots, t_n)} \times \frac{D(t_1, t_2, \dots, t_n)}{D(x_1, x_2, \dots, x_n)}$$

dont on aura constamment à faire usage dans la suite, et aussi la formule

$$1 = \frac{D(x_1, x_2, \dots, x_n)}{D(t_1, t_2, \dots, t_n)} \times \frac{D(t_1, t_2, \dots, t_n)}{D(x_1, x_2, \dots, x_n)}$$

qui est un cas particulier de la précédente.

Nous allons maintenant traiter les problèmes analogues aux précédents qui se présentent dans les changements de plusieurs variables indépendantes et montrer que les solutions dans les deux cas peuvent être rendues tout à fait comparables par l'introduction des déterminants fonctionnels. Nous examinerons le cas de deux variables indépendantes, pour fixer les idées.

PROBLÈME III. — Soit  $\gamma$  une fonction des variables indépendantes  $x_1$  et  $x_2$ . On suppose  $x_1$  et  $x_2$  définis au moyen de  $t_1$  et de  $t_2$  par les relations  $x_1 = \varphi_1(t_1, t_2)$ ,  $x_2 = \varphi_2(t_1, t_2)$ . Dès lors,  $\gamma$  peut être considéré comme fonction des variables  $t_1$  et  $t_2$ . On demande d'exprimer les dérivées successives de  $\gamma$  par rapport à  $x_1$  et à  $x_2$  au moyen de  $t_1$  et de  $t_2$  et des dérivées successives de  $\gamma$  par rapport à  $t_1$  et à  $t_2$ .

Nous remarquerons que l'on a

$$\frac{\partial \gamma}{\partial x_1} = \frac{D(\gamma, x_2)}{D(x_1, x_2)}$$



et nous partirons des identités

$$\frac{D(y, x_1)}{D(x_1, x_2)} = \frac{D(y, x_1)}{D(t_1, t_2)} \times \frac{D(t_1, t_2)}{D(x_1, x_2)} = \frac{D(y, x_1)}{D(t_1, t_2)} \times \frac{1}{\frac{D(x_1, x_2)}{D(t_1, t_2)}}.$$

Nous aurons alors l'expression suivante de la dérivée première  $\frac{\partial y}{\partial x_1}$

$$(3) \quad \frac{\partial y}{\partial x_1} = \frac{D(y, x_1)}{D(t_1, t_2)} \times \frac{1}{\frac{D(x_1, x_2)}{D(t_1, t_2)}}.$$

La dérivée première  $\frac{\partial y}{\partial x_1}$  s'obtient en multipliant le déterminant fonctionnel de  $y$  et de  $x_2$  par rapport à  $t_1$  et à  $t_2$  par l'inverse du déterminant fonctionnel de  $x_1$  et de  $x_2$  par rapport aux mêmes variables.

Les termes du second membre sont des fonctions de  $t_1$  et de  $t_2$  et des dérivées premières de  $y$  par rapport à ces variables.

On obtiendra de la même manière

$$\frac{\partial y}{\partial x_2} = - \frac{D(y, x_1)}{D(t_1, t_2)} \times \frac{1}{\frac{D(x_1, x_2)}{D(t_1, t_2)}}.$$

Envisageons, pour fixer les idées, la dérivée partielle seconde  $\frac{\partial^2 y}{\partial x_1^2}$ , qui par définition est égale à  $\frac{\partial \left( \frac{\partial y}{\partial x_1} \right)}{\partial x_1}$ . Elle est comparable à  $\frac{\partial y}{\partial x_1}$  si

l'on fait jouer à  $\frac{\partial y}{\partial x_1}$  le rôle que joue  $y$  dans la seconde expression. Appliquons la règle énoncée pour former la dérivée partielle par rapport à  $x_1$ , on aura

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x_1^2} = \frac{D\left(\frac{\partial y}{\partial x_1}, x_2\right)}{D(t_1, t_2)} \times \frac{1}{\frac{D(x_1, x_2)}{D(t_1, t_2)}}.$$

Les termes du second membre sont des fonctions de  $t_1$  et de  $t_2$  et des dérivées partielles secondes de  $y$  par rapport à  $t_1$  et à  $t_2$ , puisque

$\frac{\partial y}{\partial x_1}$  est exprimé par la formule (3) au moyen de  $t_1$  et de  $t_2$  et des dérivées partielles premières de  $y$  par rapport à ces variables.

On obtiendra de la même manière

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x_1 \partial x_2} = - \frac{D\left(\frac{\partial y}{\partial x_1}, x_1\right)}{D(t_1, t_2)} \times \frac{1}{\frac{D(x_1, x_2)}{D(t_1, t_2)}}.$$

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{D\left(\frac{\partial y}{\partial x_2}, x_1\right)}{D(t_1, t_2)} \times \frac{1}{\frac{D(x_1, x_2)}{D(t_1, t_2)}}.$$

On voit comment on pourra de proche en proche exprimer toutes les dérivées partielles d'ordre  $n$  de  $y$  par rapport à  $x_1$  et à  $x_2$  au moyen de  $t_1$  et de  $t_2$  et des dérivées partielles de  $y$  par rapport à  $t_1$  et à  $t_2$  jusqu'à l'ordre  $n$ .

On peut encore se proposer ici de déduire les résultats que l'on obtiendrait en résolvant ces expressions par rapport aux dérivées partielles de  $y$  par rapport à  $t_1$  et à  $t_2$ , et cela sans passer par leur intermédiaire, c'est-à-dire d'exprimer explicitement les dérivées partielles successives de  $y$  par rapport à  $t_1$  et à  $t_2$  au moyen des dérivées partielles de  $y$  par rapport à  $x_1$  et à  $x_2$ . Il y a lieu de remarquer que dans les expressions que nous allons trouver rentreront non seulement les dérivées de  $x_1$  et de  $x_2$  par rapport à  $t_1$  et à  $t_2$ , mais encore les dérivées des fonctions inverses  $t_1$  et  $t_2$  par rapport à  $x_1$  et à  $x_2$ .

Nous avons encore

$$\frac{\partial y}{\partial t_1} = \frac{D(y, t_2)}{D(t_1, t_2)}.$$

L'identité

$$\frac{D(y, t_1)}{D(t_1, t_2)} = \frac{D(y, t_2)}{D(x_1, x_2)} \times \frac{D(x_1, x_2)}{D(t_1, t_2)}$$

donne

$$\frac{\partial y}{\partial t_1} = \frac{D(y, t_2)}{D(x_1, x_2)} \times \frac{D(x_1, x_2)}{D(t_1, t_2)}.$$

*La dérivée partielle de  $y$  par rapport à  $t_1$  s'obtient donc en multi-*

pliant le déterminant fonctionnel de  $y$  et de  $t_2$  par rapport à  $x_1$  et  $x_2$  par le déterminant fonctionnel de  $x_1$  et de  $x_2$  par rapport à  $t_1$  et à  $t_2$ .

On aura de la même manière

$$\frac{\partial y}{\partial t_2} = - \frac{D(y, t_1)}{D(x_1, x_2)} \times \frac{D(x_1, x_2)}{D(t_1, t_2)}.$$

Nous poserons

$$A' = \frac{D(x_1, x_2)}{D(t_1, t_2)}$$

et nous désignerons par  $A'$ ,  $A''$ , ...,  $A^{(n)}$  les dérivées partielles  $\frac{\partial A'}{\partial t_1}$ ,  $\frac{\partial^2 A'}{\partial t_1^2}$ , ...,  $\frac{\partial^{n-1} A'}{\partial t_1^{n-1}}$ .

L'expression de  $\frac{\partial y}{\partial t_1}$  s'écrit alors

$$\frac{\partial y}{\partial t_1} = \frac{D(y, t_2)}{D(x_1, x_2)} A'.$$

Prenant la dérivée des deux membres par rapport à  $t_1$ , on obtient

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t_1^2} = \frac{\partial \left( \frac{D(y, t_2)}{D(x_1, x_2)} \right)}{\partial t_1} A' + \frac{D(y, t_2)}{D(x_1, x_2)} A'.$$

Appliquons à la dérivée  $\frac{\partial \left( \frac{D(y, t_2)}{D(x_1, x_2)} \right)}{\partial t_1}$  la règle énoncée plus haut, nous aurons

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t_1^2} = \frac{D \left( \frac{D(y, t_2)}{D(x_1, x_2)}, t_2 \right)}{D(x_1, x_2)} A'' + \frac{D(y, t_2)}{D(x_1, x_2)} A'.$$

On aperçoit dès maintenant la similitude complète qu'il y aura entre les calculs que nous aurons à faire si nous voulons calculer les dérivées successives  $\frac{\partial^3 y}{\partial t_1^3}$ , ...,  $\frac{\partial^n y}{\partial t_1^n}$  et ceux que nous avons eu à faire pour calculer, dans le cas d'une variable unique, les dérivées  $y''$ , ...,  $y^{(n)}$ .

Nous devons faire jouer à  $A'$ ,  $A''$ ,  $A'''$ , ... le rôle que jouaient  $x'$ ,  $x''$ ,  $x'''$  ... et aux déterminants fonctionnels  $B_1 = \frac{D(y, t_2)}{D(x_1, x_2)}$ ,

$$B_2 = \frac{D\left(\frac{D(y, t_2)}{D(x_1, x_2)}, t_2\right)}{D(x_1, x_2)}, B_3 = \frac{D\left(\frac{D\left(\frac{D(y, t_2)}{D(x_1, x_2)}, t_2\right)}{D(x_1, x_2)}, t_2\right)}{D(x_1, x_2)}, \dots \text{ le rôle que jouaient } \frac{dy}{dx}, \frac{d^2y}{dx^2}, \frac{d^3y}{dx^3}, \dots$$

Il en résulte une généralisation immédiate de la formule de Faa de Bruno. Nous aurons

$$\frac{\partial^n y}{\partial t_1^n} = \sum \frac{n!}{i! j! \dots k!} B_p \left(\frac{A'}{1}\right)^i \left(\frac{A''}{1 \ 2}\right)^j \dots \left(\frac{A^{(l)}}{1 \ 2 \dots l}\right)^k.$$

Les  $A$  et les  $B$  ont la signification que nous venons de leur donner et les entiers  $i, j, \dots, k$  et  $p$  sont déterminés comme dans la formule de Faa de Bruno.

Le procédé indiqué pour calculer les dérivées  $\frac{\partial^n y}{\partial t_1^n}$  s'applique d'ailleurs sans difficulté au calcul des dérivées  $\frac{\partial^{\alpha+\beta} y}{\partial t_1^\alpha \partial t_2^\beta}$ .

**PROBLÈME IV.** — Soit  $y$  une fonction des variables  $x_1$  et  $x_2$ . On suppose  $y$ ,  $x_1$  et  $x_2$  définis au moyen de  $t_1$ ,  $t_2$  et  $u$  par les relations  $x_1 = \varphi_1(t_1, t_2, u)$ ,  $x_2 = \varphi_2(t_1, t_2, u)$ ,  $y = \psi(t_1, t_2, u)$ . Dès lors  $u$  peut être considéré comme une fonction de  $t_1$  et de  $t_2$ . On demande d'exprimer les dérivées partielles de  $y$  par rapport à  $x_1$  et à  $x_2$  au moyen de  $t_1$ ,  $t_2$  et  $u$  et des dérivées partielles successives de  $u$  par rapport à  $t_1$  et à  $t_2$ .

Nous partons encore des relations

$$\frac{\partial y}{\partial x_1} = \frac{D(y, x_2)}{D(x_1, x_2)} = \frac{D(y, x_2)}{D(t_1, t_2)} \times \frac{D(t_1, t_2)}{D(x_1, x_2)} = \frac{D(y, x_2)}{D(t_1, t_2)} \times \frac{1}{\frac{D(x_1, x_2)}{D(t_1, t_2)}}$$

Les deux termes du dernier membre s'expriment immédiatement

par les relations données au moyen de  $t_1$ ,  $t_2$  et  $u$  et des dérivées premières de  $u$ . On a explicitement

$$(4) \quad \frac{\partial y}{\partial x_1} = \frac{\begin{vmatrix} \frac{\partial \psi}{\partial t_1} + \frac{\partial \psi}{\partial u} \frac{\partial u}{\partial t_1} & \frac{\partial \psi}{\partial t_2} + \frac{\partial \psi}{\partial u} \frac{\partial u}{\partial t_2} \\ \frac{\partial \varphi_2}{\partial t_1} + \frac{\partial \varphi_2}{\partial u} \frac{\partial u}{\partial t_1} & \frac{\partial \varphi_2}{\partial t_2} + \frac{\partial \varphi_2}{\partial u} \frac{\partial u}{\partial t_2} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \frac{\partial \varphi_1}{\partial t_1} + \frac{\partial \varphi_1}{\partial u} \frac{\partial u}{\partial t_1} & \frac{\partial \varphi_1}{\partial t_2} + \frac{\partial \varphi_1}{\partial u} \frac{\partial u}{\partial t_2} \\ \frac{\partial \varphi_2}{\partial t_1} + \frac{\partial \varphi_2}{\partial u} \frac{\partial u}{\partial t_1} & \frac{\partial \varphi_2}{\partial t_2} + \frac{\partial \varphi_2}{\partial u} \frac{\partial u}{\partial t_2} \end{vmatrix}}.$$

On remarquera que le numérateur et le dénominateur dépendent linéairement de  $\frac{\partial u}{\partial t_1}$  et de  $\frac{\partial u}{\partial t_2}$ , le coefficient du produit de ces quantités étant au numérateur et au dénominateur un déterminant nul.

On obtiendra de la même manière

$$\frac{\partial y}{\partial x_2} = - \frac{D(y, x_1)}{D(t_1, t_2)} \times \frac{1}{\frac{D(x_1, x_2)}{D(t_1, t_2)}}.$$

Pour calculer la dérivée seconde  $\frac{\partial^2 y}{\partial x_1^2}$  on considérera cette quantité comme la dérivée première par rapport à  $x_1$  de  $\frac{\partial y}{\partial x_1}$ . Comme  $\frac{\partial y}{\partial x_1}$  est exprimé au moyen de  $t_1$ ,  $t_2$  et  $u$  et des dérivées partielles  $\frac{\partial u}{\partial t_1}$  et  $\frac{\partial u}{\partial t_2}$  par la relation (4), on voit que les calculs que l'on vient de faire relativement à  $\frac{\partial y}{\partial x_1}$  peuvent être reproduits relativement à  $\frac{\partial^2 y}{\partial x_1^2}$ :

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x_1^2} = \frac{D\left(\frac{\partial y}{\partial x_1}, x_2\right)}{D(t_1, t_2)} \times \frac{1}{\frac{D(x_1, x_2)}{D(t_1, t_2)}}.$$

Le numérateur est une fonction de  $t_1$ ,  $t_2$  et de  $u$  et des dérivées partielles premières et secondes de  $u$  par rapport à  $t_1$  et à  $t_2$ .

On formera de la même manière les dérivées partielles successives  $\frac{\partial^2 y}{\partial x_1 \partial x_2}$ ,  $\frac{\partial^2 y}{\partial x_1^2}$ , ... D'une façon générale les dérivées partielles  $n^{\text{èmes}}$  de





Alors le déterminant fonctionnel  $\delta$  devient

$$M = \begin{vmatrix} m_{11} & m_{12} & \dots & m_{1n} \\ m_{21} & m_{22} & \dots & m_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ m_{n1} & m_{n2} & \dots & m_{nn} \end{vmatrix}.$$

Les quantités désignées plus haut par  $a_i$  sont ici les éléments du déterminant adjoint du déterminant  $M$ . Les égalités (7) donnent alors sous leur forme habituelle les relations entre les mineurs d'un déterminant et les mineurs de son adjoint. Les cas particuliers les plus remarquables de ces égalités sont ceux obtenus en faisant  $r = 2$  et  $r = n - 1$ . La première hypothèse conduit au théorème de Salmon. La deuxième hypothèse conduit à l'expression des coefficients du déterminant  $M$  au moyen des mineurs du premier ordre de l'adjoint, expression qui correspond à celle des coefficients du déterminant adjoint au moyen des mineurs du premier ordre de  $M$ .

3. On dit que la substitution définie par les relations (8) est orthogonale, si les coefficients  $m$  sont tels qu'on ait

$$x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2 = t_1^2 + t_2^2 + \dots + t_n^2.$$

Les coefficients d'une substitution orthogonale sont donc soumis aux conditions suivantes :

$$\sum_{i=1}^{i=n} m_{i\alpha}^2 = 1, \quad \sum_{i=1}^{i=n} m_{i\alpha} m_{i\beta} = 0,$$

et le déterminant  $M$  de la substitution est alors égal à l'unité, comme on le voit immédiatement en élevant ce déterminant au carré et en tenant compte des relations précédentes.

Adjoignons aux  $n$  variables  $x_1, x_2, \dots, x_n$  une variable auxiliaire  $\xi$  et aux équations (8) l'équation

$$(9) \quad \xi = \tau.$$

Nous dirons, dans la suite, que l'ensemble des équations (8) et (9) définit une substitution (8<sup>bis</sup>) des  $n + 1$  variables  $\xi, x_1, x_2, \dots, x_n$ .



Il est bien évident que si les équations (8) définissent une substitution orthogonale des  $n$  variables  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , le système (8<sup>bis</sup>) définira une substitution orthogonale des  $n + 1$  variables  $\xi, x_1, x_2, \dots, x_n$ , et inversement.

Désignons par  $V_1(t_1, t_2, \dots, t_n)$  la fonction transformée de la fonction arbitraire  $V(x_1, x_2, \dots, x_n)$  par la substitution (8) ou par la substitution (8<sup>bis</sup>).

Dans l'hypothèse d'une substitution (8<sup>bis</sup>) orthogonale, la fonction  $\xi^2 + x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2$  se transforme en  $\tau^2 + t_1^2 + t_2^2 + \dots + t_n^2$  et la fonction

$$(10) \quad \frac{\lambda}{2} (\xi^2 + x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2) + \xi V(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

des  $n + 1$  variables  $\xi, x_1, x_2, \dots, x_n$ , où  $\lambda$  désigne une constante arbitraire, se transforme donc en la fonction

$$(11) \quad \frac{\lambda}{2} (\tau^2 + t_1^2 + t_2^2 + \dots + t_n^2) + \tau V_1(t_1, t_2, \dots, t_n).$$

La substitution (8<sup>bis</sup>) étant, pour un instant, supposée la plus générale, on sait que le hessien de la fonction transformée qui résulterait de la fonction (10) serait égal au hessien de cette fonction multiplié par le carré du déterminant de la substitution.

Ici, la substitution (8<sup>bis</sup>) étant supposée orthogonale, les hessiens des fonctions (10) et (11) sont égaux.

Ecrivons le hessien de la fonction (10) :

$$(12) \quad \begin{vmatrix} \lambda & \frac{\partial V}{\partial x_1} & \frac{\partial V}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial V}{\partial x_n} \\ \frac{\partial V}{\partial x_1} & \lambda + \xi \frac{\partial^2 V}{\partial x_1^2} & \xi \frac{\partial^2 V}{\partial x_1 \partial x_2} & \dots & \xi \frac{\partial^2 V}{\partial x_1 \partial x_n} \\ \frac{\partial V}{\partial x_2} & \xi \frac{\partial^2 V}{\partial x_1 \partial x_2} & \lambda + \xi \frac{\partial^2 V}{\partial x_2^2} & \dots & \xi \frac{\partial^2 V}{\partial x_2 \partial x_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial V}{\partial x_n} & \xi \frac{\partial^2 V}{\partial x_1 \partial x_n} & \xi \frac{\partial^2 V}{\partial x_2 \partial x_n} & \dots & \lambda + \xi \frac{\partial^2 V}{\partial x_n^2} \end{vmatrix}.$$

Il est bien manifeste, si l'on envisage la composition des fonctions (10) et (11), que le hessien de la fonction (11) se déduira du précédent

en y remplaçant partout  $V$ ,  $\xi$ ,  $x_1$ ,  $x_2$ , ...,  $x_n$  respectivement par  $V_1$ ,  $\tau$ ,  $t_1$ ,  $t_2$ , ...,  $t_n$ .

Si l'on tient compte de la relation (9) entre les variables  $\xi$  et  $\tau$ , on voit que ce qui précède revient à dire que les coefficients du polynôme (12) développé suivant les puissances de  $\lambda$  et de  $\xi$ , coefficients qui sont des combinaisons des dérivées premières et secondes de la fonction  $V$  par rapport aux variables  $x_1$ ,  $x_2$ , ...,  $x_n$ , sont des invariants relativement aux substitutions orthogonales effectuées sur ces variables.

Dans le but d'indiquer un moyen simple pour obtenir ces combinaisons invariantes, envisageons d'abord toutes celles que l'on obtient en prenant les coefficients des termes qui contiennent une même puissance  $m$  de  $\lambda$ . Ces termes, quand on y aura mis  $\lambda^m$  en facteur, constitueront un polynôme en  $\xi$ , qui d'ailleurs s'obtient en faisant la somme de tous les mineurs principaux que l'on déduit du déterminant (12) en y supprimant  $m$  lignes et  $m$  colonnes et dans lesquels on remplace  $\lambda$  par zéro. Ces déterminants mineurs seront divisés en deux catégories. La première catégorie comprendra ceux qui ont été obtenus en supprimant la première ligne et la première colonne du déterminant (12); la somme de ces mineurs de la première catégorie où l'on a fait  $\lambda$  égal à zéro sera désignée par  $I_1^m$ . La seconde catégorie comprendra ceux qui ont été obtenus sans supprimer la première ligne et la première colonne du déterminant (12); la somme de ces mineurs de la seconde catégorie où l'on a fait  $\lambda$  égal à zéro sera désignée par  $I_2^m$ .

Tous les mineurs qui composent la somme  $I_1^m$  contiennent évidemment une même puissance de  $\xi$  en facteur, égale à  $n + 1 - m$ .

Tous les mineurs qui composent la somme  $I_2^m$  sont de la forme

$$\begin{vmatrix} 0 & \frac{\partial V}{\partial x_1} & \frac{\partial V}{\partial x_2} & \cdots & \frac{\partial V}{\partial x_p} \\ \frac{\partial V}{\partial x_1} & \xi \frac{\partial^2 V}{\partial x_1^2} & \xi \frac{\partial^2 V}{\partial x_1 \partial x_2} & \cdots & \xi \frac{\partial^2 V}{\partial x_1 \partial x_p} \\ \frac{\partial V}{\partial x_2} & \xi \frac{\partial^2 V}{\partial x_1 \partial x_2} & \xi \frac{\partial^2 V}{\partial x_2^2} & \cdots & \xi \frac{\partial^2 V}{\partial x_2 \partial x_p} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \frac{\partial V}{\partial x_p} & \xi \frac{\partial^2 V}{\partial x_1 \partial x_p} & \xi \frac{\partial^2 V}{\partial x_2 \partial x_p} & \cdots & \xi \frac{\partial^2 V}{\partial x_p^2} \end{vmatrix},$$

où la combinaison des indices  $1, 2, \dots, p$  désigne une combinaison de  $n + 1 - m$  des  $n$  nombres  $1, 2, \dots, n$ . Ils contiennent une même puissance de  $\xi$  en facteur, égale à  $n + 1 - m - 2$ .

Il résulte de là que les sommes  $I_1^m, I_2^m$ , où l'on a fait  $\xi = 1$  sont des combinaisons invariantes.

Il est maintenant facile de compter le nombre de ces combinaisons invariantes. Chaque facteur de  $\lambda^m$  conduit à deux combinaisons invariantes, si  $m$  est différent de 0 et de  $n$ . Pour  $m = n$  la somme  $I_2^n$  disparaît et la somme  $I_1^n$ , qui subsiste, donne le paramètre différentiel du second ordre de Lamé :  $\frac{\partial^2 V}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial x_2^2} + \dots + \frac{\partial^2 V}{\partial x_n^2}$ . Pour  $m = 0$  la somme  $I_1^0$  disparaît. Nous avons donc  $2n$  paramètres différentiels qui sont les sommes de tous les déterminants mineurs principaux d'un même ordre que l'on forme au moyen du déterminant

$$\begin{vmatrix} 0 & \frac{\partial V}{\partial x_1} & \frac{\partial V}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial V}{\partial x_n} \\ \frac{\partial V}{\partial x_1} & \frac{\partial^2 V}{\partial x_1^2} & \frac{\partial^2 V}{\partial x_1 \partial x_2} & \dots & \frac{\partial^2 V}{\partial x_1 \partial x_n} \\ \frac{\partial V}{\partial x_2} & \frac{\partial^2 V}{\partial x_1 \partial x_2} & \frac{\partial^2 V}{\partial x_2^2} & \dots & \frac{\partial^2 V}{\partial x_2 \partial x_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial V}{\partial x_n} & \frac{\partial^2 V}{\partial x_1 \partial x_n} & \frac{\partial^2 V}{\partial x_2 \partial x_n} & \dots & \frac{\partial^2 V}{\partial x_n^2} \end{vmatrix},$$

soit en y supprimant toujours la première ligne et la première colonne, soit en les conservant toujours.

Le paramètre différentiel du premier ordre de Lamé  $\left(\frac{\partial V}{\partial x_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial x_2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial V}{\partial x_n}\right)^2$  est donné par la somme  $I_2^{n-1}$ .

Tous ces paramètres différentiels formés des dérivées premières et secondes d'une fonction  $V$ , qui ne sont pas altérés par les substitutions orthogonales, ont été obtenus par Morin<sup>(1)</sup> par une voie différente.

Morin signale aussi des paramètres différentiels où les dérivées s'élèvent jusqu'au troisième ordre.

(1) M. Morin, *Sur les paramètres différentiels des fonctions* (p. 25). Paris, Gauthier-Villars, 1867.

Il est facile, en restant au point de vue auquel je viens de me placer, de trouver des paramètres différentiels où les dérivées s'élèvent jusqu'à un ordre quelconque.

Proposons-nous, par exemple, de former des paramètres différentiels où rentrent des dérivées du quatrième ordre.

Nous adjoindrons aux  $n$  variables  $x_1, x_2, \dots, x_n$  deux variables auxiliaires  $\xi$  et  $\xi'$  et aux équations (8) les équations

$$(13) \quad \begin{cases} \xi = \tau, \\ \xi' = \tau'. \end{cases}$$

Nous dirons maintenant que l'ensemble des équations (8) et (13) définit une substitution (8<sup>ter</sup>) des  $n + 2$  variables  $\xi, \xi', x_1, x_2, \dots, x_n$ . La substitution (8<sup>ter</sup>) est orthogonale en même temps que la substitution (8).

Nous considérerons l'un quelconque des paramètres différentiels, obtenus précédemment, où rentrent les dérivées premières et secondes. Nous choisirons, pour fixer les idées, le paramètre différentiel du second ordre de Lamé :  $\frac{\partial^2 V}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial x_2^2} + \dots + \frac{\partial^2 V}{\partial x_n^2}$ .

Nous envisagerons alors la fonction des  $n + 2$  variables  $\xi, \xi', x_1, \dots, x_n$

$$(14) \quad \frac{\lambda}{2} (\xi^2 + \xi'^2 + x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2) + \xi V(x_1, x_2, \dots, x_n) + \xi' \left( \frac{\partial^2 V}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial x_2^2} + \dots + \frac{\partial^2 V}{\partial x_n^2} \right)$$

qui jouera maintenant le rôle joué tout à l'heure par la fonction (10) et nous conclurons, comme tout à l'heure, que les coefficients du hessien de la fonction (14) considéré comme un polynôme en  $\lambda, \xi, \xi'$  restent inaltérés par la substitution (8) supposée orthogonale.

Ce hessien que le lecteur écrira facilement sera, dans la suite, désigné par la lettre H.

Si on le considère comme un polynôme en  $\lambda, \xi$  et  $\xi'$  ses coefficients sont, comme on le voit, des combinaisons des dérivées des quatre premiers ordres.

Nous apercevons encore un moyen simple de former les combinaisons invariantes en considérant toutes celles que l'on obtient en prenant les coefficients des termes qui contiennent une même puis-

sance  $m$  de  $\lambda$ . Ces termes, quand on y aura mis  $\lambda^m$  en facteur, constitueront un polynome en  $\xi$  et en  $\xi'$ , qui s'obtient en faisant la somme de tous les mineurs principaux déduits du déterminant  $H$  en y supprimant  $m$  lignes et  $m$  colonnes et dans lesquels on remplace  $\lambda$  par 0. Ces déterminants mineurs seront divisés en trois catégories. La première comprendra ceux qui ont été obtenus en supprimant les deux premières lignes et les deux premières colonnes du déterminant  $H$ . Tous ces mineurs de la première catégorie, quand on y fait  $\lambda = 0$ , sont des polynomes en  $\xi$  et en  $\xi'$  homogènes et de degré  $n + 2 - m$ . Nous désignerons leur somme par  $G_1^m$ . La seconde catégorie comprendra les mineurs obtenus en supprimant la première ligne et la première colonne et ceux obtenus en supprimant la seconde ligne et la seconde colonne. On verra facilement que tous ces mineurs de la seconde catégorie, quand on y fait  $\lambda = 0$ , sont des polynomes en  $\xi$  et en  $\xi'$  homogènes et de degré  $n - m$ . Nous désignerons leur somme par  $G_2^m$ . La troisième catégorie comprendra les mineurs obtenus sans supprimer les deux premières lignes et les deux premières colonnes. Ces mineurs, quand on y fait  $\lambda = 0$ , sont des polynomes en  $\xi$  et en  $\xi'$  homogènes et de degré  $n - m - 2$ ; leur somme sera désignée par  $G_3^m$ .

Puisque les polynomes homogènes  $G_1^m$ ,  $G_2^m$ ,  $G_3^m$  sont de degrés différents, leurs coefficients sont des combinaisons invariantes.

*Envisageant donc le déterminant  $H'$  que l'on déduirait du déterminant  $H$  en y faisant  $\lambda = 0$ , nous ferons les sommes de tous les mineurs principaux d'un même ordre du déterminant  $H'$  que l'on obtient soit en y supprimant toujours les deux premières lignes et les deux premières colonnes, soit en y supprimant toujours la première ligne et la première colonne ou la seconde ligne et la seconde colonne, soit en y conservant toujours les deux premières lignes et les deux premières colonnes. Ces sommes seront des polynomes en  $\xi$  et en  $\xi'$  dont les coefficients seront des paramètres différentiels de la fonction  $V$  qui resteront inaltérés par les substitutions orthogonales.*

---

# DÉMONSTRATION D'UN THÉORÈME

## SUR

# CERTAINES FONCTIONS ENTIÈRES

De  $n$  variables complexes

Par M. P. COUSIN

PROFESSEUR A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE BORDEAUX

---

Dans un mémoire publié dans les *Annales de l'École normale supérieure* (3<sup>e</sup> série, t. XIX), j'ai énoncé et démontré un théorème qui est une extension d'une proposition de M. Appell sur les fonctions entières de  $n$  variables complexes, dont les zéros admettent par rapport à chacune des variables la période  $2i\pi$ . La démonstration que j'ai indiquée dans cette étude est fondée sur une proposition très générale que j'ai établie dans ma thèse de doctorat. Je me propose de donner ici une nouvelle démonstration du même théorème, qui n'exige l'emploi d'aucune proposition qui ne soit absolument classique.

Je désignerai par  $f(x)$  une fonction entière des  $n$  variables complexes  $x_1, x_2, \dots, x_n$ . La notation  $f(\gamma_p)$  indiquera le changement de la variable  $x_p$  ( $p$  désignant l'un des nombres  $1, 2, \dots, n$ ) en une autre variable  $\gamma_p$ , les autres variables demeurant les mêmes. D'une façon analogue,  $f(\gamma_p, \gamma_q)$  indiquera le changement des variables  $x_p, x_q$  respectivement en  $\gamma_p, \gamma_q$ , les  $(n-2)$  autres variables  $x$  restant inaltérées. En particulier pour le changement de la variable  $x_p$  en  $x_p + 2i\pi$ , nous écrirons  $f(x_p + 2i\pi)$ .

Ceci posé, la fonction  $f(x)$  est supposée satisfaire aux conditions suivantes : chacun des  $n$  quotients  $\frac{f(x_p + 2i\pi)}{f(x)}$ , ( $p = 1, 2, \dots, n$ )



On suppose en outre que pour ces mêmes valeurs des variables  $x$  le quotient  $\frac{\varphi_q(x)}{f(x)}$  est régulier et ne s'annule pas; enfin la fonction  $\varphi_q(x)$  est supposée satisfaire aux  $q$  premières des identités (2), c'est-à-dire à celles qui correspondent aux valeurs  $p = 1, 2, \dots, q$ . Dans ce qui suit nous désignerons par la notation  $D(a, b)$  le domaine des variables  $x$  satisfaisant aux inégalités précédentes.

Nous allons montrer comment,  $\varepsilon$  désignant un nombre positif choisi aussi petit que l'on veut, on peut former une fonction  $\varphi_{q+1}(x)$  satisfaisant, pour le domaine  $D(a + \varepsilon, b - \varepsilon)$ , aux mêmes conditions que  $\varphi_q(x)$  et satisfaisant, en outre, à la  $(q + 1)^{\text{ème}}$  des identités (2).

Nous avons dans le domaine  $D(a, b)$  l'identité :

$$(4) \quad \varphi_q(x) = f(x)e^{\psi(x)},$$

$\psi(x)$  étant régulière dans le domaine  $D(a, b)$ .

On conclut de là :

$$\varphi_q(x_p + 2i\pi) = f(x_p + 2i\pi)e^{\psi(x_p + 2i\pi)},$$

et à cause des identités (1) :

$$\varphi_q(x_p + 2i\pi) = f(x)eg_p(x) + \psi(x_p + 2i\pi),$$

et enfin :

$$\varphi_q(x_p + 2i\pi) = \varphi_q(x)eg_p(x) + \psi_p(x_p + 2i\pi) - \psi(x).$$

Pour les valeurs de  $p$  inférieures ou égales à  $q$ , on a, par hypothèse :

$$(5) \quad \varphi_q(x_p + 2i\pi) = \varphi_q(x)eL_p(x) \quad (p = 1, 2, \dots, q).$$

Pour  $p > q$  on aura :

$$(6) \quad \varphi_q(x_p + 2i\pi) = \varphi_q(x)eh_p(x) \quad (p = q + 1, q + 2, \dots, n)$$

où l'on a posé pour abréger :

$$(7) \quad h_p(x) = g_p(x) + \psi(x_p + 2i\pi) - \psi(x).$$



Dans les identités (6) changeons la variable  $x_\mu$  en  $x_\mu + 2i\pi$ ,  $\mu$  désignant l'un des entiers 1, 2, ...,  $q$ ; il viendra :

$$\varphi_q(x_\mu + 2i\pi, x_p + 2i\pi) = \varphi_q(x_\mu + 2i\pi) e^{h_p(x_\mu + 2i\pi)} \\ \mu = 1, 2, \dots, q; p = q + 1, q + 2, \dots, n).$$

Or, d'après les identités (5) et en remarquant que  $L_\mu(x)$  ne contient que les variables d'indice inférieur à  $\mu$ , on a :

$$\varphi_q(x_\mu + 2i\pi, x_p + 2i\pi) = \varphi_q(x_p + 2i\pi) e^{L_\mu(x)}.$$

D'autre part :

$$\varphi_q(x_\mu + 2i\pi) = \varphi_q(x) e^{L_\mu(x)}.$$

Il vient alors, en remplaçant dans l'égalité précédente et supprimant le facteur  $e^{L_\mu(x)}$  :

$$\varphi_q(x_p + 2i\pi) = \varphi_q(x) e^{h_p(x_\mu + 2i\pi)} \quad [\mu = 1, 2, \dots, q; p = q + 1, q + 2, \dots, n].$$

En comparant ces dernières identités aux identités (6), on en conclut :

$$h_p(x_\mu + 2i\pi) - h_p(x) = \text{multiple de } 2i\pi.$$

Prenons en particulier  $p = q + 1$ , et posons :

$$h_{q+1}(x_\mu + 2i\pi) - h_{q+1}(x) = 2i\pi m_\mu^{(q+1)} \quad (\mu = 1, 2, \dots, q),$$

$m_\mu^{(q+1)}$  désignant un entier positif, négatif ou nul.

Nous poserons ensuite :

$$(9) \quad k(x) = h_{q+1}(x) - L_{q+1}(x)$$

avec :

$$L_{q+1}(x) = m_1^{(q+1)} x_1 + m_2^{(q+1)} x_2 + \dots + m_q^{(q+1)} x_q.$$

La fonction  $k(x)$  satisfait dès lors aux relations :

$$(10) \quad k(x_\mu + 2i\pi) - k(x) = 0 \quad (\mu = 1, 2, \dots, q)$$

Effectuons maintenant le changement de variables suivant :

$$\xi_{q+1} = e^{x_{q+1}}; \xi_p = x_p. \quad (p = 1, 2, \dots, q, q+2, \dots, n).$$

Aux valeurs de  $x_{q+1}$  dont la partie réelle est comprise dans l'intervalle  $(a, b)$  correspondent des valeurs de  $\xi_{q+1}$  dont le module est compris dans l'intervalle  $(e^a, e^b)$ ; c'est-à-dire que dans la représentation de la variable  $\xi_{q+1}$  sur un plan, le point  $\xi_{q+1}$  est situé dans une couronne circulaire  $C$  ayant pour centre l'origine et pour rayon  $e^a, e^b$ ; cette couronne découpe sur la partie positive de l'axe des quantités réelles un segment  $E$  que nous prendrons comme coupure; nous supposons de plus que la valeur de  $x_{q+1}$  qui correspond à un point  $\xi_{q+1}$  situé sur le bord supérieur (au-dessus de l'axe des quantités réelles) de la coupure  $E$ , est la détermination réelle de  $\log \xi_{q+1}$ ; de telle sorte que la valeur de  $x_{q+1}$  correspondant à un point  $\xi_{q+1}$  du bord inférieur de  $E$  aura sa partie imaginaire égale à  $2i\pi$ . La correspondance des valeurs des variables  $x$  à celles des variables  $\xi$  est ainsi déterminée sans ambiguïté tant que  $\xi_{q+1}$  ne traverse pas la coupure.

La fonction  $k(x)$  devient par le changement de variables précédent une fonction  $K(\xi)$  qui reste uniforme et régulière tant que  $\xi_{q+1}$  ne traverse pas la coupure  $E$  et que les autres variables conservent des parties réelles comprises dans l'intervalle  $(a, b)$  ou égales aux valeurs extrêmes  $a$  et  $b$ .

Posons maintenant :

$$U(\xi) = \frac{1}{2i\pi} \int_E \frac{K(\eta_{q+1}) d\eta_{q+1}}{\xi_{q+1} - \eta_{q+1}}$$

l'intégrale étant prise le long de  $E$  dans le sens positif de l'axe des quantités réelles; la détermination de  $K(\eta_{q+1})$  choisie pour l'intégration sera, nous le supposons, celle qui est relative au bord supérieur de la coupure  $E$  ou, en d'autres termes, celle qui est égale à  $k(x)$  pour  $x_{q+1}$  réel et variant entre  $a$  et  $b$ .

La fonction  $U(\xi)$  est ainsi bien définie et régulière tant que  $\xi_{q+1}$  reste intérieur à  $C$  et ne traverse pas la coupure  $E$ , les autres variables  $\xi$  appartenant au domaine  $D(a, b)$ .

La fonction  $U(\xi)$  exprimée en fonction des variables  $x$  est une fonction  $u(x)$  régulière et bien définie pour les valeurs des  $x$  dont les

parties réelles sont comprises dans l'intervalle  $(a, b)$ , la partie imaginaire de  $x_{q+1}$  étant comprise entre 0 et  $2i\pi$ .

Or, il résulte d'un théorème bien connu que, par continuation analytique, la fonction  $U(\xi)$  peut être définie et ne cesse pas d'être régulière lorsque  $\xi_{q+1}$  traverse la coupure  $E$  un nombre quelconque de fois et dans un sens quelconque, comme la fonction  $K(\xi)$  elle-même. Il en résulte que  $u(x)$  peut être considérée comme définie par continuation analytique et reste régulière pour toutes les valeurs des  $x$  appartenant au domaine  $D(a + \varepsilon, b - \varepsilon)$ ,  $\varepsilon$  désignant un nombre réel positif, aussi petit que l'on veut.

Comme  $K(\xi)$  admet la période  $2i\pi$  par rapport à chacune des variables  $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_q$ , d'après les identités (10), il en est de même de  $U(\xi)$  et par suite aussi  $u(x)$  admet cette période relativement à chacune des variables  $x_1, x_2, \dots, x_q$ ; soit donc :

$$(11) \quad u(x_p + 2i\pi) = u(x) \quad (p = 1, 2, \dots, q)$$

Cherchons à calculer la différence  $u(x_{q+1} + 2i\pi) - u(x)$ , qui est une fonction régulière tant que les valeurs des  $x$  appartiennent au domaine  $D(a + \varepsilon, b - \varepsilon)$ .

J'appelle pour cela  $U_1(\xi)$  la détermination de  $U(\xi)$  relative à un point  $\xi_{q+1}$  du bord supérieur de  $E$  et  $U_2(\xi)$  sa détermination pour le point infiniment voisin du bord inférieur. On aura :

$$U_2(\xi) - U_1(\xi) = -K(\xi)$$

ou bien :

$$(12) \quad u(x_{q+1} + 2i\pi) - u(x) = -k(x),$$

identité dans laquelle  $x_{q+1}$  est réelle et comprise entre  $a$  et  $b$ , les autres  $x$  appartenant au domaine  $D(a, b)$ . L'identité a donc lieu aussi pour toutes les valeurs des  $x$  qui appartiennent au domaine  $D(a + \varepsilon, b - \varepsilon)$ , puisque le premier membre de (12) est une fonction régulière dans ce domaine ainsi que le second membre.

Considérons maintenant la fonction  $\varphi_{q+1}(x)$  définie par la relation :

$$(13) \quad \varphi_{q+1}(x) = \varphi_q(x) e^{u(x)}$$

Le quotient  $\frac{\varphi_{q+1}(x)}{f(x)} = \frac{\varphi_q(x)}{f(x)} e^{u(x)}$  est, d'après (4), égal à  $e^{\sigma(x) + u(x)}$ ; il est par suite régulier et différent de 0 pour les valeurs des  $x$  appartenant au domaine  $D(a + \varepsilon, b - \varepsilon)$ .

Des relations (5) et (11) on conclut les suivantes :

$$(14) \quad \varphi_{q+1}(x_p + 2i\pi) = \varphi_{q+1}(x) e^{L_p(x)} \quad (p = 1, 2, \dots, q)$$

Puis des relations (8), (9), (12) et (13), on tire :

$$(15) \quad \varphi_{q+1}(x_{q+1} + 2i\pi) = \varphi_{q+1}(x) e^{L_{q+1}(x)}.$$

Or, c'est là la  $(q+1)^{\text{ème}}$  des relations (2).

En résumé, la fonction  $\varphi_{q+1}(x)$  satisfait dans le domaine  $D(a + \varepsilon, b - \varepsilon)$  aux mêmes conditions que la fonction  $\varphi_q(x)$ ; elle satisfait en outre à la  $(q+1)^{\text{ème}}$  des relations (2).

Voici comment nous appliquerons le théorème qui vient d'être démontré. Nous prendrons  $\varphi_0(x) = f(x)$  et nous choisirons l'intervalle  $(a, b)$  d'une façon arbitraire. On déduira la fonction  $\varphi_1(x)$  de  $\varphi_0(x)$  comme  $\varphi_{q+1}(x)$  a été déduite de  $\varphi_q(x)$ ; puis de  $\varphi_1(x)$  on déduira  $\varphi_2(x)$  et ainsi de suite jusqu'à une fonction  $\varphi_n(x)$  qui satisfera aux conditions suivantes :

1° Elle sera régulière dans un domaine  $D(a_1, b_1)$ ; ( $a_1$  et  $b_1$  peuvent être considérés comme choisis arbitrairement, puisqu'ils diffèrent aussi peu qu'on le veut de  $a$  à  $b$ , eux-mêmes arbitraires).

2° Le quotient  $\frac{\varphi_n(x)}{f(x)}$  est une fonction régulière et différente de 0 dans  $D(a_1, b_1)$ .

3° La fonction  $\varphi_n(x)$  satisfait à  $n$  identités de la forme des relations (2).

Remarquons tout de suite que les entiers  $m$  qui figurent dans les relations (2) ont des valeurs parfaitement déterminées dès que la fonction  $f(x)$  est donnée; en d'autres termes, ils ne dépendent pas de l'intervalle choisi  $(a_1, b_1)$ , ni de la façon dont on forme la fonction  $\varphi_n(x)$ : on le verrait en répétant ici un raisonnement analogue à celui que j'ai donné dans le paragraphe 4 du mémoire cité.

Ceci posé, prenons arbitrairement une suite indéfinie de nombres réels décroissant au delà de toute limite à partir de  $a_1$ ; soit :

$$a_1 > a_2 > a_3 > a_4 \dots\dots\dots$$

cette suite, et soit aussi, d'une façon analogue :

$$b_1 > b_2 > b_3 > b_4 \dots \dots \dots$$

une suite de nombres réels croissant au delà de toute limite. J'appellerai  $\Phi_s(x)$  une fonction analogue à  $\varphi_n(x)$  relative à l'intervalle  $(a_s, b_s)$ , ( $s = 1, 2, \dots + \infty$ ). Les fonctions  $\Phi_{s+1}(x)$  et  $\Phi_s(x)$  satisfaisant toutes deux aux relations (2), leur quotient  $\frac{\Phi_{s+1}(x)}{\Phi_s(x)}$  admet la période  $2i\pi$  par rapport à chacune des variables  $x$ ; de plus, il est régulier et différent de 0 pour les valeurs des  $x$  appartenant au domaine  $D(a_s, b_s)$ , puisqu'il en est ainsi des quotients  $\frac{\Phi_s(x)}{f(x)}$  et  $\frac{\Phi_{s+1}(x)}{f(x)}$ .

La fonction

$$(16) \quad \Psi_s(x) = \log \frac{\Phi_{s+1}(x)}{\Phi_s(x)}$$

est donc régulière pour ces mêmes valeurs des  $x$ , et l'on a évidemment :

$$(17) \quad \Psi_s(x_p + 2i\pi) - \Psi_s(x) = 2r_p^{(s)} i\pi \quad (p = 1, 2, \dots n)$$

où les  $r$  sont des entiers positifs, négatifs ou nuls.

Posons

$$(18) \quad M_s(x) = \sum_{p=1}^{p=n} r_p^{(s)} x_p.$$

La différence

$$(19) \quad v_s(x) = \Psi_s(x) - M_s(x)$$

est une fonction régulière pour les valeurs du domaine  $D(a_s, b_s)$  et qui admet la période  $2i\pi$  relativement à chacune des variables  $x$ .

Nous pouvons donc l'exprimer en fonction uniforme des variables  $\xi_p = e^{x_p}$  ( $p = 1, 2, \dots n$ ) régulière pour les valeurs des  $\xi$  intérieures à des couronnes circulaires de rayons intérieurs  $e^{a_s}$  et de rayons extérieurs  $e^{b_s}$  ou situées sur les circonférences qui limitent ces couronnes.

Soit  $V_s(\xi)$  ce que devient  $v_s(x)$  par ce changement de variables. On peut d'après une proposition bien connue retrancher de  $V_s(\xi)$  un poly-

nombre entier par rapport aux variables  $\xi$  et à leurs inverses, soit  $R_s(\xi)$ , tel que l'on ait,  $\epsilon_s$  étant un nombre positif donné,

$$(20) \quad |V_s(\xi) - R_s(\xi)| < \epsilon_s$$

pour toutes les valeurs des  $\xi$  telles que

$$(21) \quad ea_s \leq |\xi_p| \leq eb_s \quad (p = 1, 2, \dots, n).$$

On peut supposer les  $\epsilon_s$  choisis de telle sorte que la série dont le terme général est  $\epsilon_s$  soit convergente.

Soit  $r_s(x)$  l'expression de  $R_s(\xi)$  en fonction des variables  $x$ ;  $r_s(x)$  admettra évidemment la période  $2i\pi$  par rapport à chacune des variables  $x$ .

Considérons l'expression :

$$\Phi_1(x) e^{\sum_{s=1}^{\infty} [v_s(x) - r_s(x)]}.$$

Nous allons montrer qu'elle définit une fonction entière. Désignons pour cela par  $\lambda$  un nombre entier positif et séparons la série  $\sum_{s=1}^{\infty}$  en deux parties, l'une renfermant la somme des  $(\lambda - 1)$  premiers termes et la seconde les autres termes, et posons

$$(22) \quad F_\lambda(x) = \Phi_1(x) e^{\sum_{s=1}^{\lambda-1} [v_s(x) - r_s(x)]} e^{\sum_{s=\lambda}^{\infty} [v_s(x) - r_s(x)]}.$$

La série qui figure dans la seconde exponentielle est convergente pour les valeurs des  $x$  du domaine  $D(a_\lambda, b_\lambda)$ ; cela résulte des inégalités (20) et de l'hypothèse faite à l'égard des  $\epsilon_s$ ; soit  $T_\lambda(x)$  la somme de cette série qui sera régulière pour les valeurs des  $x$  du domaine  $D(a_\lambda, b_\lambda)$  et qui admettra la période  $2i\pi$  relativement à chacune des variables  $x$ .

On a, d'après les égalités (16) et (19):

$$\sum_{s=1}^{\lambda-1} [v_s(x) - r_s(x)] = \log \frac{\Phi_\lambda(x)}{\Phi_1(x)} - \sum_{s=\lambda}^{\infty} [M_s(x) + r_s(x)].$$

On conclut de là :

$$(23) \quad F_{\lambda}(x) = \Phi_{\lambda}(x) e^{T_{\lambda}(x) - \sum_{s=1}^{s=\lambda-1} [M_s(x) + r_s(x)]}.$$

$F_{\lambda}(x)$  est donc régulière pour les valeurs des  $x$  du domaine  $D(a_{\lambda}, b_{\lambda})$ ; de plus le quotient  $\frac{F_{\lambda}(x)}{\Phi_{\lambda}(x)}$  et par suite aussi le quotient  $\frac{F_{\lambda}(x)}{f(x)}$  sont des fonctions régulières et différentes de 0 pour ces valeurs des  $x$ ; enfin l'exponentielle qui figure dans la formule (23) admet évidemment la période  $2i\pi$  par rapport à chacune des variables. Il s'ensuit que  $F_{\lambda}(x)$  satisfait aux conditions (2) comme la fonction  $\Phi(x)$  elle-même.

Si nous posons, d'une façon analogue, en désignant par  $\mu$  un entier positif, supérieur à  $\lambda$ , et choisi aussi grand que l'on veut,

$$(24) \quad F_{\mu}(x) = \Phi_{\mu}(x) e^{T_{\mu}(x) - \sum_{s=1}^{s=\mu-1} [M_s(x) + r_s(x)]},$$

la fonction  $F_{\mu}(x)$  sera définie et régulière dans tout le domaine  $D(a_{\mu}, b_{\mu})$ . Or cette fonction coïncide avec  $F_{\lambda}(x)$  pour les valeurs du domaine  $D(a_{\lambda}, b_{\lambda})$  les seules pour lesquelles  $F_{\lambda}(x)$  soit définie; car on a, par exemple, dans le domaine  $D(a_1, b_1)$  :

$$F_{\mu}(x) = F_{\lambda}(x) = \Phi_1(x) e^{\sum_{s=1}^{s=\infty} [v_s(x) - r_s(x)]}.$$

De plus  $F_{\mu}(x)$  satisfait aux conditions énoncées plus haut, pour  $F_{\lambda}(x)$  et cela dans tout le domaine  $(a_{\mu}, b_{\mu})$ .

Comme  $\mu$  peut être choisi aussi grand que l'on veut, on peut dire que l'on a défini une fonction entière  $F(x)$ , qui coïncide avec  $F_{\lambda}(x)$  dans le domaine  $D(a_{\lambda}, b_{\lambda})$ , telle de plus que le quotient  $\frac{F(x)}{f(x)}$  est dans tout le plan régulier et différent de 0, et telle enfin qu'elle vérifie les relations (2).

Le théorème que nous avons en vue est ainsi complètement démontré.

SUR LES VARIATIONS  
DU SPHACELARIA CIRROSA  
ET  
SUR LES ESPÈCES DE SON GROUPE

Par M. C. SAUVAGEAU

PROFESSEUR DE BOTANIQUE A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE BORDEAUX

---

On trouve communément dans les mers d'Europe une petite Algue brune, que les anciens auteurs (Dillen, Hudson, etc.) rangeaient parmi les Conferves en raison de sa structure filamenteuse, et qui, depuis C. Agardh (1828), est connue sous le nom de *Sphacelaria cirrosa*. Elle croît en touffes sur d'autres Algues, sur les pierres ou sur les rochers. Comme son aspect est très variable, ses diverses formes ont été séparées en variétés et en espèces, ce qui rend sa synonymie assez compliquée.

Dans un beau travail d'ensemble sur les Sphacélariacées, M. Reinke (1891), à l'inverse de ses prédécesseurs, a fait rentrer dans le *S. cirrosa* tous les *Sphacelaria* à propagules trifurqués, en y distinguant toutefois, d'après la ramification générale, deux formes extrêmes : *pennata* et *irregularis*, du nom d'espèces antérieurement séparées. Ce groupement semblait si bien répondre à la réalité, que l'on considéra le *S. cirrosa* comme l'espèce la mieux connue du genre (Kjellman).

Cependant, M. Reinke en sépare une espèce méconnue jusque-là, le *S. Hystrix*, parasite sur le *Cystoseira ericoides* des Canaries, caractérisée, en outre, par la forme lancéolée des rayons de ses propagules. Il se demande, toutefois, si des recherches plus détaillées n'aboutiront pas à la démonstration que le *S. Hystrix* n'est qu'une forme facultati-



vement parasite du *S. cirrosa*, ou, au contraire, à la séparation de la f. *irregularis* de la Méditerranée en une espèce distincte, intermédiaire entre les deux autres; d'une part, en effet, celle-ci est épiphyte comme le *S. cirrosa* et, d'autre part, les rayons de ses propagules sont fusiformes comme ceux du *S. Hystrix*.

Or, la découverte, dans le Golfe de Gascogne, du *S. Hystrix* pourvu d'organes sexués jusqu'alors inconnus dans toute la famille, m'a entraîné à examiner des échantillons d'herbier pour essayer d'établir la distribution géographique de cette intéressante espèce, puis à leur comparer de très nombreux exemplaires de *S. cirrosa*. Cette longue étude montre que certaines des formes, incorporées dans le *S. cirrosa*, présentent des caractères anatomiques et biologiques particuliers et constituent de bonnes espèces. En outre, si l'on suit la principale et la plus répandue de ces espèces dans les limites de son aire de végétation, on constate, dans l'aspect général de la plante et dans la forme des propagules, d'intéressantes modifications correspondant aux mers dans lesquelles elle vit.

Ces observations, dont je ne donne ici qu'un résumé, ont été exposées tout récemment avec figures à l'appui <sup>(1)</sup> et font partie d'un Mémoire sur les différents genres de Sphacélariacées dont la publication n'est pas encore terminée.

\*  
\* \*

Au lieu d'être une rareté, comme on le croyait, le *S. Hystrix* est abondant sur le *C. ericoides*, de la Bretagne jusqu'aux Canaries. Sa présence est longtemps restée inaperçue parce que, pendant l'été, saison habituelle des récoltes algologiques, il ressemble beaucoup au *S. cirrosa*, plante vulgaire, avec lequel on le confondait.

Mais, au printemps, son aspect est tout autre. Il forme de petites touffes de 1 à 3 millimètres de hauteur, très denses, constituées par des filaments composés d'axes et de rameaux distincts, comme dans tout le groupe du *S. cirrosa*. Les organes pluriloculaires sont abondants et de deux sortes : les uns sont des anthéridies parfaitement bien caractérisées, renfermant des anthérozoïdes identiques à ceux des Fucacées, des Cutlériacées et des *Ectocarpus* hétérogames; les autres, de couleur foncée,

(1) *Journal de Botanique*, t. XVI, 1902, et t. XVII, 1903.

renferment des éléments motiles, plus volumineux, pourvus de chromatophores, et qui, selon toute vraisemblance, sont des oosphères. J'ai assisté bien des fois à la déhiscence, qui est individuelle pour chaque logette, chez les anthéridies comme chez les oogones, sans jamais réussir à observer de fécondation dans mes expériences; quoi qu'il en soit, cette sexualité bien caractérisée, observée sur le vivant, est indiscutable; ultérieurement, je l'ai constatée aussi chez l'*Halopteris filicina*.

Ces éléments reproducteurs propagent le *S. Hystrix* sur le *C. ericoides*. Les touffes jeunes sont bien homogènes et sexuées. Puis, en mai, elles deviennent hétérogènes: certains filaments, plus gros, dépassent les autres, et portent des propagules trifurqués; on croirait que le *S. cirrosa* est venu s'implanter dans les touffes du *S. Hystrix*, constituant une de ces associations dont bien d'autres Algues fournissent l'exemple. Mais il n'en est rien; les filaments longs sont des filaments d'origine plus tardive, qui appartiennent aussi au *S. Hystrix*; ils deviennent de plus en plus nombreux, et remplacent bientôt la plante sexuée qui disparaît. Les nouvelles touffes qui naissent alors sont toutes à filaments longs, ne produisent plus aucun organe pluriloculaire, mais uniquement des propagules, organes de la reproduction végétative. Pendant tout l'été, ces propagules multiplient le *S. Hystrix* sur le *C. ericoides* en donnant les individus non sexués confondus jusqu'à maintenant avec le *S. cirrosa* et qui s'en distinguent surtout par leur parasitisme.

Puis, la plante disparaît en automne, et nous ignorons sous quel état elle passe l'hiver; toutefois, il n'est pas vraisemblable que les propagules soient l'origine des individus printaniers, car les plus jeunes que j'ai observés, au commencement d'avril, alors que le *S. Hystrix* était encore peu répandu, n'en montraient aucune trace. Au contraire, les zoospores, ou mieux les oosphères, pouvant rester longtemps sans germer, comme je l'ai constaté dans mes cultures, il paraît plus probable que certaines de celles-ci (fécondées ou non), après avoir pénétré dans le tissu du *Cystoseira*, s'y maintiennent sans changement pendant l'hiver, puis poussent au printemps suivant, et que, des premières touffes sexuées développées, partent les essaims qui colonisent les jeunes branches du *Cystoseira*. Le cas serait semblable à celui bien connu du *Cladophora lanosa* croissant sur le *Polyides*, mais plus délicat à vérifier.

Quoi qu'il en soit, le cycle du développement du *S. Hystrix* nous

présente une curieuse alternance de générations entre une série d'individus sexués et une série d'individus à multiplication exclusivement végétative. Malgré le nombre considérable d'exemplaires que j'ai examinés, je n'ai jamais rencontré de sporanges uniloculaires; M. Reinke en a décrit sur des échantillons de l'Herbier de Kiel; ces sporanges étant, chez les autres Phéosporées, des organes de reproduction asexuée, leur intercalation dans le développement du *S. Hystrix* serait intéressante à suivre.

La manière dont germent les propagules amène une autre complication. Ils portent trois rayons, insérés sur le pied au même niveau et écartés de  $120^\circ$ , fusiformes, convexes vers le haut, entre lesquels le sphacèle en calotte s'allonge souvent en un poil pareil à ceux des filaments. Cette disposition est très favorable à la dissémination. Le pied et les rayons, physiologiquement identiques, jouent le même rôle dans la germination; la pointe (ou les pointes) qui touche le *Cystoseira* donnera l'individu nouveau: elle s'étale en un disque rampant qui pénètre inférieurement dans le thalle hospitalier, et duquel naissent les filaments dressés; les autres pointes s'allongent peu, produisent 1-2-3 poils, indiquant un sympode à 1-2-3 générations, habituellement d'un seul article primaire chacune, puis cessent tout accroissement. M. de Janczewski, qui a déjà constaté ce mode de germination chez le *S. cirrosa*, compare ce disque à un prothalle; c'est en effet une sorte d'intermédiaire nécessaire entre l'élément de la multiplication végétative et l'individu nouveau. Il y a là comme une seconde alternance de générations dans le cycle de la plante propagulifère.

Jusqu'à présent, le *S. Hystrix* n'ayant pas été rencontré sur un substratum autre que le *C. ericoides*, sa distribution géographique ne peut dépasser celle de ce dernier, qui s'étend de l'Irlande aux îles du Cap Vert. Cependant, Harvey a récolté en Australie une petite plante très voisine du *S. Hystrix*, que j'ai décrite sous le nom de *S. Harveyana*. Parasite sur un *Cystophora* elle portait en abondance deux sortes d'organes pluriloculaires, anthéridies et oogones, comme le *S. Hystrix*; en outre, des sporanges uniloculaires étaient nombreux sur des filaments spéciaux. Les exemplaires de Harvey provenant d'une seule récolte, on ne peut savoir si les produits de la germination de ces organes diffèrent. Je n'ai vu aucun propagule, et, d'ailleurs, le *S. Harveyana* est si bien pourvu d'organes reproducteurs que les propagules semblent inutiles pour la conservation de l'espèce; toutefois, certains filaments

un peu plus forts, encore jeunes, stériles ou portant quelques rares sporanges sur leurs rameaux inférieurs, rendent très probable l'existence de propagules à une époque plus tardive, et le *S. Harveyana* paraît être l'homologue australien du *S. Hystrix*.

\*  
\* \*

Le *S. bipinnata* est une espèce que j'ai rétablie. Kützing l'avait distinguée en 1855, d'après un échantillon du Morbihan, et en faisait un *Stypocaulon* à cause de ses abondants rhizoïdes. Cependant, on le confondait depuis avec le *S. cirrosa* et c'est en partie à cause de cette confusion, comme on le verra plus loin, que l'on attribuait des sporanges pluriloculaires au *S. cirrosa* chez lequel ils sont au contraire très rares.

Le *S. bipinnata* forme de grosses touffes de 2 centimètres de hauteur, à filaments souples, très ramifiés, garnis de rhizoïdes dans leur portion inférieure. Il est parasite sur l'*Halidrys siliquosa* et le *Cystoseira fibrosa*, mais ses rhizoïdes forment sur le substratum un amas spongieux d'où partent des filaments dressés, ce qui explique pourquoi le parasitisme originel était resté inaperçu.

La répartition géographique est celle de ses supports. L'*Halidrys* habite le Nord de l'Europe; on le rencontre en place seulement à basse mer, mais comme il peut flotter facilement et longtemps, il est souvent entraîné par les courants et rejeté sur les côtes; aussi, sa limite méridionale est-elle mal déterminée. Je l'ai vu rejeté sur toute la côte Nord de l'Espagne, et Montagne le cite aux Canaries; cependant, je ne crois pas qu'il habite réellement au sud de l'embouchure de la Gironde, tout au moins si l'on considère la zone littorale. Sur la côte de Norvège, où l'*Halidrys* est fréquent, on peut récolter le *S. bipinnata* par de bonnes marées; en Normandie et en Bretagne, il semble vivre seulement sur les *Halidrys* qui ne découvrent pas à basse mer, car on le rencontre uniquement sur des individus rejetés, et son état de fraîcheur indique que le support, arraché depuis peu de temps, ne vient pas de loin.

L'*Halidrys* est une Algue habituellement très propre, sur laquelle les épiphytes et les parasites sont peu nombreux; aussi, le *S. bipinnata* y est-il facile à reconnaître. Le *C. fibrosa* est un support plus

banal, parfois couvert de végétations variées, et le parasite qui nous occupe peut passer inaperçu; sa distribution géographique est inverse de celle de l'*Halidrys*; on le rencontre sur les côtes atlantiques du Maroc, d'Espagne et de France; il croît aussi en Irlande et sur les côtes de la Manche, mais il ne remonte pas jusqu'au Nord de l'Angleterre. J'ai récolté le *S. bipinnata* sur le *C. fibrosa* à l'île de Ré, à Guéthary (Basses-Pyrénées), à La Corogne. On ne le trouve guère dans les collections, précisément parce qu'il est mélangé à d'autres Algues vivant sur le même support. Cependant le *S. bipinnata* existe probablement partout où se rencontre le *C. fibrosa*; celui-ci supplée l'*Halidrys* comme support.

J'ai seulement étudié le *S. bipinnata* sur des exemplaires récoltés en été, et quelques-uns en automne; mais jusqu'à présent rien ne fait supposer, dans le cycle de son développement, une alternance de générations correspondant à celle du *S. Hystrix*. Habituellement, la plante est garnie d'organes reproducteurs; les sporanges uniloculaires sont particulièrement nombreux; une touffe en renferme des milliers. Les organes pluriloculaires se montrent parfois sur les mêmes rameaux, plus souvent sur d'autres filaments. Je n'ai pas eu l'occasion de les étudier à l'état frais, mais sur tous les échantillons examinés, secs ou conservés en liquide, ils étaient foncés comme si leurs éléments motiles possédaient des chromatophores, bien que de dimensions peu différentes de celles des anthérozoïdes du *S. Hystrix*, car les logettes mesurent  $4.5\mu$  de hauteur. Si donc ces sporanges pluriloculaires ne sont pas des anthéridies devenues inutiles, comme celles du *Tilopteris*, ce que l'on ne peut admettre *a priori*, on doit s'attendre à trouver chez le *S. bipinnata* une reproduction sexuée isogamique, par opposition à la reproduction hétérogamique des *S. Hystrix* et *S. Harveyana*. D'ailleurs, les sporanges uniloculaires, que l'on a tout lieu de considérer comme asexués, sont tellement abondants qu'ils pourraient amplement suffire à la propagation de la plante; aussi, les propagules du *S. bipinnata* sont-ils très rares: je n'en ai trouvé que sur quelques exemplaires qui étaient notablement moins riches en sporanges, comme si un balancement organique existait dans la production de ces deux sortes d'organes.

Je ne puis affirmer que le *S. bipinnata* existe dans les mers australasiennes; cependant, un échantillon défectueux, provenant de la Nouvelle-Zélande, semble pouvoir être rapporté à cette espèce.

\* \*

Le *S. fusca* était mal connu; je crois que la plante figurée par Harvey, bien que généralement considérée comme synonymie du *S. cirrosa*, doit être rétablie comme espèce distincte. Je l'ai étudié sur des échantillons anglais, originaux de Harvey, et j'ai constaté, d'après l'Herbier Thuret, qu'il existe aussi en France, à Saint-Malo et en Australie. Mieux connu, le *S. fusca* se rencontrera sans doute moins exceptionnellement. Jusqu'à présent, les seuls organes de multiplication qu'il ait présentés sont des propagules trifurqués dont les rayons, au lieu d'être plus ou moins rétrécis à leur insertion, comme dans les autres espèces du groupe, sont cylindriques ou graduellement atténués.

\* \*

Après avoir extrait du *S. cirrosa*, tel que le comprennent les auteurs, les *S. Hystrix*, *bipinnata* et *fusca*, on conservera le nom de *S. cirrosa* à la plante non parasite (tout au moins la plante européenne) qui porte des propagules trifurqués et dont les rameaux sont nettement distincts des axes. Ainsi limité, il est encore très répandu et croît sur les supports les plus variés.

Suivant la latitude à laquelle il vit, le *S. cirrosa* présente dans la forme de ses propagules de très intéressantes variations, que j'ai pu suivre en examinant un très grand nombre d'individus. Celles-ci ne correspondent pas aux formes *pennata* et *irregularis*, dénominations qui doivent être abandonnées, et je les ai distinguées par les noms de *septentrionalis*, *meridionalis* et *mediterranea*; entre ces variétés, on trouve naturellement des formes de passage, mais les états extrêmes sont fort bien caractérisés et correspondent à des différences de port.

En Norvège, le *S. cirrosa* forme des touffes longues, souples, à filaments principaux grêles, dont les articles secondaires sont souvent plus hauts que larges; les rameaux primaires sont espacés, longs et grêles. Les rayons des propagules sont plus ou moins arqués, cylindriques, légèrement rétrécis à leur point d'insertion; les propagules à trois rayons sont les plus nombreux, néanmoins, on en trouve à

deux rayons, le troisième ayant complètement avorté. J'ai suivi cette forme *septentrionalis* jusqu'en Bretagne, à Concarneau. Cependant, bien au Nord de cette localité, dans les îles d'Helgoland et de Wight, le *S. cirrosa* commence à prendre la forme *meridionalis* que l'on retrouve ensuite sur tous les exemplaires océaniques français et espagnols, de la Manche jusqu'à Madère. Les touffes de ceux-ci sont plus raides et plus trapues; les filaments principaux, assez rigides, sont plus longs et plus cloisonnés; les articles secondaires sont aussi hauts ou moins hauts que larges, et les rameaux primaires sont plus courts, plus raides et plus divariqués que dans la précédente variété. Les propagules sont les mêmes que ceux du *S. Hystrix*, avec trois rayons nettement renflés en fuseau; l'avortement de l'un des rayons devient beaucoup plus rare, et je n'ai jamais rencontré de propagules à quatre rayons.

Une autre différence survient chez les exemplaires de la Méditerranée. L'appareil végétatif et la forme des propagules sont les mêmes que sur nos côtes de l'Océan; je n'ai vu aucun propagule à deux rayons: on en compte trois ou quatre, et sur certains exemplaires les propagules à quatre rayons sont bien plus nombreux que ceux à trois. Sur les touffes récoltées à Alger, les propagules portent indifféremment trois, quatre ou cinq rayons.

Ainsi, le *S. cirrosa* nous présente d'intéressantes variations; peu d'espèces, je crois, en montrent d'aussi nettes. Non seulement on suit les différences de l'appareil végétatif du Nord au Sud, mais on voit les propagules se modifier simultanément dans leur forme, et, ce qui est plus important encore, dans le nombre de leurs rayons.

La manière dont le *S. cirrosa* se comporte aux Féroë mérite d'être mentionnée. J'ai dit ailleurs que le *S. furcigera*, considéré jusqu'à présent comme spécial aux mers chaudes, vit aussi sur les côtes de France et remonte jusqu'aux Féroë; à Helgoland et sur les côtes de Norvège, ses propagules commencent à se modifier, mais aux Féroë ils présentent de curieuses anomalies: certaines sont réduites à leur pied de longueur normale, d'autres, réduites aussi à leur pied, reprennent l'état végétatif; d'autres encore ne présentent qu'un seul rayon. Les propagules du *S. cirrosa* y prennent aussi des formes bizarres; si certains sont normaux, d'autres ne développent qu'un ou deux rayons de longueur inégale, ou bien un rayon produit un nouveau rayon, se bifurque ou se trifurque.

On peut concevoir que le *S. furcigera*, étant originaire de l'hémisphère austral, subit les modifications que nous constatons en se répandant peu à peu dans les mers septentrionales. Celles que subit le *S. cirrosa* aux Féroë sont peut-être un argument en faveur d'une origine semblable, et on regrettera que l'*Halidrys siliquosa*, qui croît dans ces îles, n'y ait pas été récolté avec le *S. bipinnata*. D'ailleurs, jusqu'à maintenant, le *S. cirrosa* n'était pas cité au Sud de l'Équateur, mais je rapporte à cette espèce deux plantes australiennes récoltées par Harvey, l'une avec des propagules de la f. *septentrionalis*, l'autre avec des propagules de la f. *meridionalis*, et ceci rend encore plus probable, que le *S. cirrosa*, comme la plupart des autres espèces du genre, a une origine australe, bien qu'on ne l'ait pas encore rencontré dans les régions tropicales intermédiaires.

La germination des propagules du *S. cirrosa* est la même que chez le *S. Hystrix*; les nouveaux individus naissent sur le disque prothallien résultat de cette germination, chaque pointe s'étalant en disque donnant un individu. Le fait est d'ailleurs facile à vérifier, car le *S. cirrosa* est assez fréquent sur nos côtes pour que l'on trouve souvent, et en toute saison, des propagules en germination sur d'autres Algues.

L'abondance habituelle des propagules du *S. cirrosa*, la perfection de leur forme si favorable à la dissémination, et la facilité avec laquelle ils germent, rendent pour ainsi dire superflue la présence d'autres organes de multiplication. Et, en effet, les touffes à sporanges uniloculaires sont bien moins communes que celles à propagules; toutefois, quand ces sporanges existent, ils sont nombreux et garnissent les filaments. Les sporanges uniloculaires que j'ai rencontrés sur les exemplaires français paraissaient en très bon état; au contraire, ceux des exemplaires norvégiens que j'ai examinés, et ceux de certains exemplaires de l'Adriatique semblaient presque vides, comme s'ils ne devaient pas arriver à maturité. Les sporanges pluriloculaires sont encore plus rares, et je suis persuadé que ceux dont parlent les auteurs appartiennent pour la plupart au *S. bipinnata*, tout au moins s'il s'agit de la plante de l'Océan; j'en ai vu uniquement sur des individus d'une récolte faite sur la côte nord de l'Espagne: tous étaient à petites logettes, comme ceux du *S. bipinnata*, et leurs éléments motiles se comportent sans doute de même.

Le balancement organique que nous avons constaté chez le *S. bipin-*



*nata*, entre les différents organes destinés à perpétuer la plante, est tout aussi frappant chez le *S. cirrosa*, mais il se manifeste en sens inverse. Les organes les plus fréquents, chez le *S. bipinnata*, sont les sporanges uniloculaires, asexués, et les organes pluriloculaires probablement sexués, tandis que les propagules sont rares ou exceptionnels ; chez le *S. cirrosa*, les propagules, organes de la multiplication végétative, sont extrêmement répandus : c'est surtout, sinon exclusivement par eux, que l'espèce se maintient et se propage, tandis que les sporanges uniloculaires sont plutôt rares et que les sporanges pluriloculaires sont exceptionnels.

Cette remarque en appelle une autre. Le parasitisme d'une plante est souvent une cause de dégradation pour elle. Chez les Phanérogames, quand il ne retentit pas sur l'appareil végétatif, ou tout au moins sur le nombre des corps chlorophylliens, on en trouve la trace dans la fleur, et la structure des feuilles reproductrices, étamines et carpelles, est souvent dégradée. Dans le groupe du *S. cirrosa*, au contraire, c'est chez les espèces parasites que la propagation et le maintien de l'espèce s'effectuent par les moyens les plus parfaits. Ainsi, la sexualité du *S. Hystrix* est parfaitement caractérisée, et la plante présente une double alternance de générations (le *S. Harveyana* est peut-être dans le même cas). Or, son parasitisme, bien qu'il ne soit pas intra-cellulaire, bien qu'il n'épuise ni même ne déforme le support, à la manière de l'*Ectocarpus Valiantei*, est cependant très net. Si les œufs (ou les oosphères parthénogénétiques) restent longtemps sans germer et passent une partie de l'année à l'état de vie ralentie, comme je le suppose, on conçoit que ces éléments, en attendant le moment favorable à leur germination, se mettent à l'abri dans le thalle du *Cyst. ericoides*, comme le font les zoospores du *Cladophora lanosa* dans les rameaux du *Polyides*, et qu'un parasitisme ultérieur en résulte. Ce serait là une sorte de parasitisme accidentel et qui dépendrait de conditions tout à fait spéciales. Rien de semblable ne peut être invoqué quant à la germination des propagules, qui germent comme ceux du *S. cirrosa*, mais le disque qu'ils produisent envoie un cône de pénétration dans le *Cystoseira*, bien que celui-ci ne soit pas un support sur lequel la simple fixation soit difficile, ou insuffisante ; d'une part, en effet, il présente de nombreuses cryptes pilifères favorables à la fixation, et, d'autre part, il est souvent couvert de végétations épiphytes variées. Le parasitisme est donc réel, et la plante hospitalière doit fournir des

matières nutritives. D'ailleurs, j'ai cité aussi le cas du *S. furcigera* d'Australie, nettement parasite, et dont les organes pluriloculaires de deux sortes, s'ils ne sont pas des anthéridies et des oogones, sont au moins des méiosporanges et des mégasporanges, comme ceux de l'*Ectocarpus virescens*. Le *S. bipinnata*, pareillement parasite, a des organes pluriloculaires d'une seule sorte, dont les logettes de très petite taille font penser à la possibilité de l'isogamie ; les propagules sont très rares, et la multiplication végétative ne doit jouer qu'un rôle effacé dans la vie de la plante. D'ailleurs, on ignore si les produits de la germination des éléments des organes uniloculaires sont semblables ou différents. Au contraire, le *S. cirrosa*, à vie toujours indépendante, semble avoir perdu presque complètement sa reproduction sexuée ; la plante se multiplie par boutures qui naissent en très grande quantité, à toutes les époques de l'année, et germent aussitôt après leur déhiscence. La biologie du *S. fusca*, à vie indépendante aussi, est trop peu connue pour qu'on en puisse tirer des conséquences ; il se comporte probablement comme le *S. cirrosa*.



# LIQUÉFACTION DES MÉLANGES GAZEUX

Par M. F. CAUBET

CHARGÉ DE COURS A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE BORDEAUX

---

**Groupe : Anhydride carbonique, Oxyde azoteux.**

---

§ 1. — *La surface limitée. — Les lignes limites.*

Nous avons eu l'occasion de montrer dans un travail antérieur<sup>(1)</sup> que le problème de la statique d'un mélange quelconque de deux fluides était complètement résolu, quand on avait construit, avec soin, la surface limite relative à ces deux fluides, et un réseau suffisant d'isothermes pour chaque mélange. Nous prions le lecteur de bien vouloir se reporter à ce travail, pour l'intelligence de la terminologie employée dans le présent mémoire.

Nous nous sommes proposé d'étudier ici le groupe des deux fluides anhydride carbonique et oxyde azoteux. Nous avons, pour cela, construit sept sections de la surface limite, parallèles à l'axe OS, c'est-à-dire sept lignes limites correspondant aux concentrations moyennes suivantes :

$$X_1 = 0,02197$$

$$X_2 = 0,04085$$

$$X_3 = 0,07421$$

$$X_4 = 0,21318$$

$$X_5 = 0,51597$$

$$X_6 = 0,81059$$

$$X_7 = 0,91906$$

<sup>(1)</sup> CAUBET, *Liquéfaction des mélanges gazeux* (Mémoires de la Société des Sciences physiques et naturelles de Bordeaux, 6<sup>e</sup> série, t. I), et *Liquéfaction des mélanges gazeux*, Paris, librairie scientifique A. Hermann, 6 et 12, rue de la Sorbonne.



de rosée et à la nappe d'ébullition, et une arête de la surface limite. Elle est extraite du mémoire de M. Amagat, sur l'élasticité et la dilatabilité des fluides (1).

ED est la projection sur le plan TOP de la courbe des tensions de vapeur saturée de l'oxyde azoteux. Cette dernière est située dans un plan parallèle au plan TOP, correspondant à la concentration  $S = X = 1$ ; c'est aussi une ligne commune à la nappe de rosée et à la nappe d'ébullition, et la deuxième arête de la surface limite. Elle a été construite d'après les données extraites du travail de M. Kuenen (2).

BCD est la projection sur le plan TOP de la ligne critique. Cette projection présente un point d'abscisse minimum et un point d'ordonnée maximum. La ligne critique est, dans l'espace, une ligne commune à la nappe de rosée, et à la nappe d'ébullition.

Enfin la ligne FC est la projection, sur le plan TOP, d'une ligne de Gibbs et Konovalow située sur la surface limite. Cette ligne de Gibbs et Konovalow est encore, sur la surface limite, une ligne commune à la nappe de rosée et à la nappe d'ébullition; tout le long de cette ligne les deux nappes sont tangentes entre elles.

La ligne de Gibbs et Konovalow est issue du point *c* de la ligne critique, dont le point C est la projection horizontale. Ce point *c* de la ligne critique appartient à la ligne limite n° 4; la cote de ce point est :

$$S = X_4 = 0,21318.$$

Le point *c* de la ligne critique est un point de passage, et la ligne limite n° 4 est ligne de passage.

En projection sur le plan TOP, la tangente est commune en C à la ligne critique, à la ligne de Gibbs et Konovalow et à la ligne limite n° 4 (3) en son point de rebroussement.

Les lignes limites 1, 2, 3, dont les points critiques sont seuls indiqués sur la projection de la ligne critique, n'ont pu être représentées

(1) AMAGAT, *Élasticité et Dilatabilité des fluides* (Annales de chimie et de physique, 6<sup>e</sup> série, t. XXIX, p. 136; 1893).

(2) KUENEN, *On the critical phenomena of mixtures of Ethane and nitrous Oxyde*. (Philosophical Magazine, 5<sup>e</sup> série, t. XL, p. 181; 1895).

(3) DUHEM, *Traité élémentaire de Mécanique chimique fondée sur la thermodynamique*, t. IV, chap. IV, p. 129.

sur la projection de la surface limite, à cause de la confusion qui se serait produite.

Chacune de ces lignes présente un point indifférent ou point de

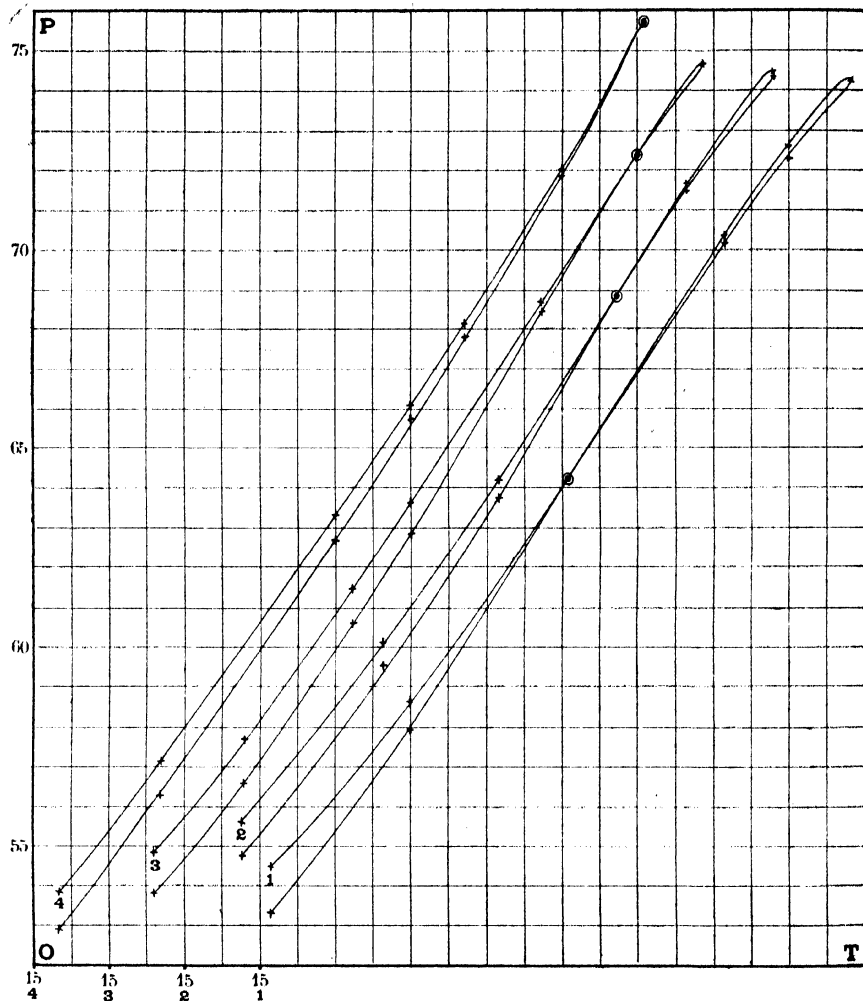


FIG. 2.

Gibbs et Konovalow. Pour bien montrer la forme de ces lignes, nous les avons représentées séparément (*fig. 2*) en joignant à leur ensemble la ligne de passage.

Dans cette figure 2, et sur l'axe OT, l'abscisse correspondant à la température de 15° est différente pour chacune des lignes 1, 2, 3, 4.

Il est facile de voir, sur la figure, la correspondance des abscisses pour chacune d'elles.

Il est établi analytiquement <sup>(1)</sup> que la ligne de Gibbs et Konovalow et la ligne critique ont, dans l'espace, une tangente commune au point de passage. Nous avons déjà constaté graphiquement que la projection de la ligne de Gibbs et Konovalow, sur le plan TOP, est

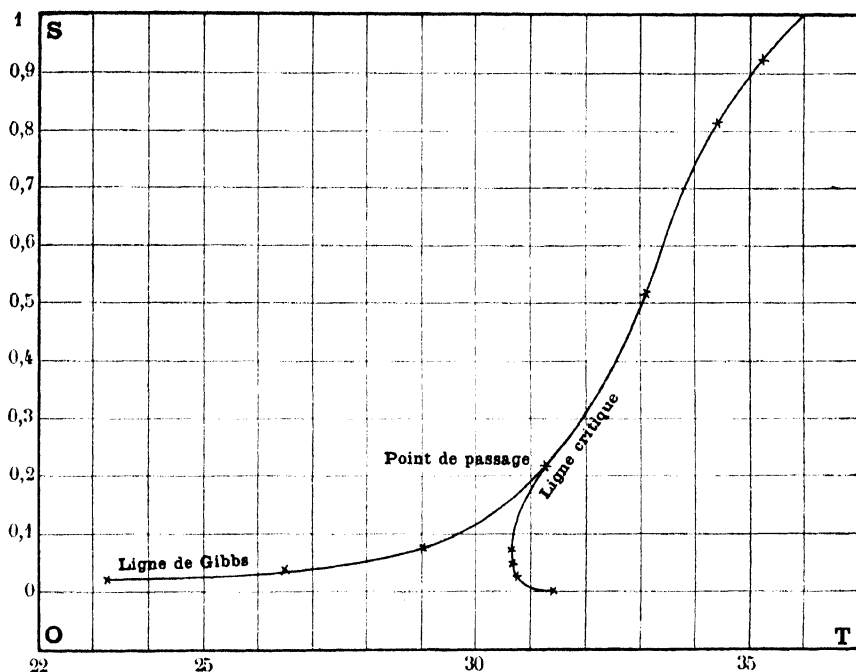


FIG. 3.

tangente à la projection, sur le même plan, de la ligne critique. Mais cette constatation est insuffisante pour établir la tangence des deux lignes dans l'espace; c'est pourquoi nous avons, d'après les données de nos expériences, construit les projections de la ligne de Gibbs et Konovalow et de la ligne critique, sur le plan TOS. Ces projections sont représentées figure 3.

On voit, sur cette figure, que les deux projections se raccordent tan-

<sup>(1)</sup> DUHEM, *Traité élémentaire de Mécanique chimique fondée sur la thermodynamique*, t. IV, chap. IV.



gentiellement en un point qui est précisément la projection du point de passage.

Le fait de la tangence des deux lignes dans l'espace se trouve donc vérifié graphiquement par le tracé des projections sur deux plans rectangulaires.

Néanmoins, et pour donner une idée plus précise du raccordement

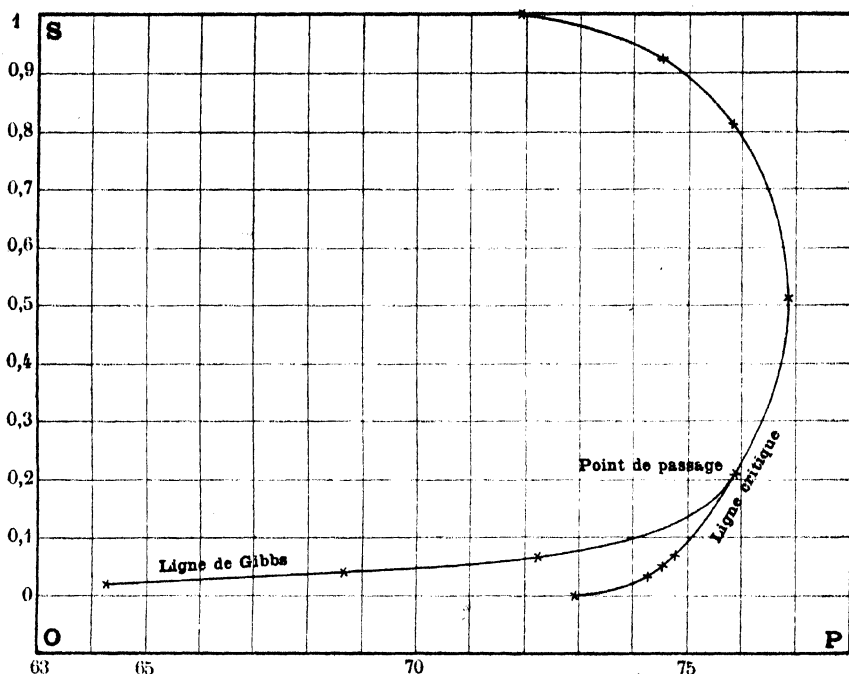


FIG. 4.

de ces deux lignes dans l'espace, nous avons représenté leurs projections sur le troisième plan POS. La figure 4 montre le tracé de ces projections.

De ce qui précède, il résulte que la ligne de Gibbs et Konovalow part tangentiellement à la ligne critique du point de passage dont la cote est  $S = 0,24318$ , qu'elle descend d'abord, assez rapidement, sur la surface limite, puis, très lentement, à partir de la cote  $S = 0,07421$  qui est celle du point indifférent fourni par la ligne limite n° 3.

On sait que la projection sur le plan TOP d'une ligne de Gibbs et Konovalow fait toujours partie du contour apparent, sur ce plan,

de la surface limite. D'après cela, le contour apparent de cette surface, pour le groupe anhydride carbonique et oxyde azoteux, est déterminé de la façon suivante :

1° Par la ligne ED, projection de la courbe des tensions de vapeur saturée de l'oxyde azoteux ;

2° Par l'arc DC de la projection de la ligne critique ;

3° Par la projection CF de la ligne de Gibbs et Konovalow.

L'arc CB de la ligne critique, et la courbe AB des tensions de vapeur de l'anhydride carbonique, ne font point partie du contour apparent.

Les lignes limites 4, 5, 6, 7 sont, dans toute leur étendue, situées sur la surface limite, au-dessus de la ligne de Gibbs et Konovalow. Les lignes d'ébullition sont représentées en traits pleins, les lignes de rosée en pointillés ; ces dernières sont, en effet, cachées ; la nappe d'ébullition de la surface étant, à partir de la ligne de Gibbs et Konovalow, située au-dessus de la nappe de rosée.

Les lignes limites 1, 2, 3 sont situées, sur la surface limite, au-dessus de la ligne de Gibbs, jusqu'à leur propre point indifférent : au-dessous, depuis ce point jusqu'à la ligne critique.

Enfin, on peut constater que les lignes limites que nous avons déterminées expérimentalement, présentent toutes une même déformation systématique. Cette déformation s'accuse, de plus en plus, à mesure que la concentration moyenne décroît ; elle devient maximum pour les lignes limites qui offrent des points de Gibbs et Konovalow.

## § 2. — *Les sections isothermes et les sections isobares*

Pour avoir une idée nette de la forme d'une surface, il faut en construire des sections parallèles aux trois plans de coordonnées.

Nous avons donc construit pour la surface limite en question une section isotherme correspondant à la température de 26°5, et une section isobare correspondant à la pression 68,70 atmosphères. Ces deux sections rectangulaires passent par le point de la ligne de Gibbs et Konovalow qui appartient à la ligne limite n° 2, dont la concentration moyenne est :

$$X_2 = 0,04085.$$

La section isotherme est représentée figure 5 et la section isobare figure 6.

L'intérêt de ces sections ne consiste pas uniquement à montrer les formes de la nappe de rosée et de la nappe d'ébullition. Elles permettent encore :

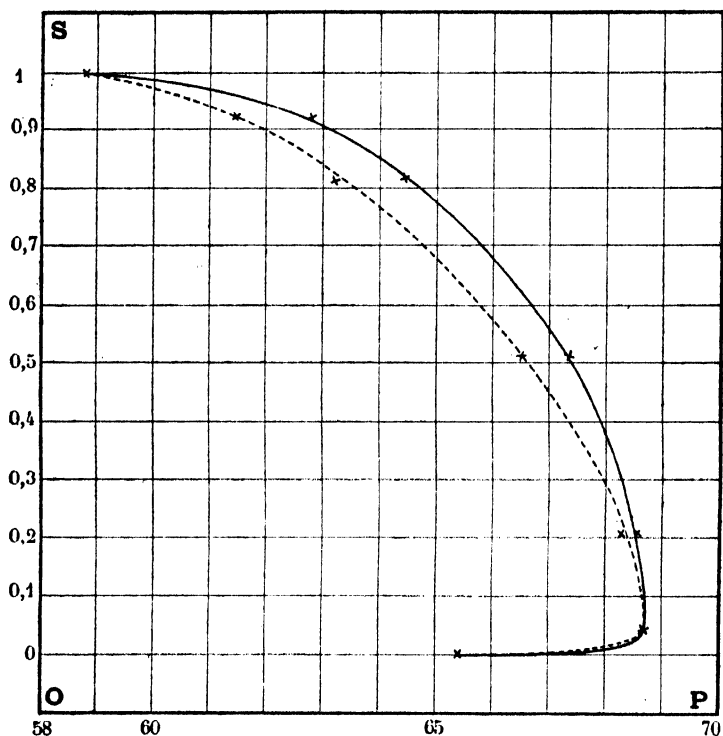


FIG. 5.

1° De déterminer quels sont les mélanges qui, à une température donnée et sous une pression donnée, seront susceptibles de se présenter sous deux phases distinctes coexistantes : liquide et vapeur.

2° De déterminer la variation des concentrations des deux phases liquide et vapeur, pour un mélange de concentration moyenne donnée, soit le long d'une isotherme, soit le long d'une isobare.

Prenons un exemple.

Soit la température  $26^{\circ}5$  qui est celle de la section isotherme, et la pression 63,5 atmosphères. La parallèle à OS, menée par le point 63,5 de l'axe OP, rencontre la surface limite en deux points : le

premier, appartenant à la ligne de rosée; le second, à la nappe d'ébullition.

Le premier point correspond à la concentration moyenne 0,800; le second, à la concentration moyenne 0,875 environ.

1° Tous les mélanges qui à la température  $26^{\circ}5$  et sous la pression 63,5 atmosphères sont susceptibles de se présenter sous deux phases coexistantes, liquide et vapeur, ont des concentrations moyennes comprises entre 0,800 et 0,875.

2° Tous les mélanges dont la concentration est inférieure à 0,800 sont à l'état homogène vapeur;

3° Tous les mélanges dont la concentration est supérieure à 0,875, sont à l'état homogène liquide.

Menons par le point de coordonnées

$$\begin{aligned} P &= 63,5 \\ S &= 0,800, \end{aligned}$$

la parallèle à OP : cette parallèle coupe la nappe d'ébullition en un point de coordonnée

$$\begin{aligned} P &= 64,7 \\ S &= 0,800. \end{aligned}$$

$P = 64,7$  est la pression d'ébullition du mélange de concentration moyenne 0,800 à la température de  $26^{\circ}5$ .

Par suite, pour un mélange de concentration moyenne 0,800 et à la température  $26^{\circ}5$  le point de rosée se produit à la pression  $63^{\circ}5$  atmosphères.

A ce moment, la concentration de la vapeur est 0,800, la concentration de la goutte liquide est 0,875.

Pour le même mélange, et à la même température, le point d'ébullition se produit à la pression 64,7 atmosphères.

A ce moment, la concentration du liquide est 0,800, la concentration de la vapeur est 0,710. C'est l'ordonnée du point où la parallèle à OS, menée par le point 64,7 de l'axe OP, rencontre la nappe de rosée.

Donc, pendant la construction de l'isotherme pratique, la concentra-

tion de la vapeur diminue constamment, de la valeur 0,800, à la valeur 0,710, la concentration du liquide diminue constamment de la valeur 0,875 à la valeur 0,800.

La loi de cette variation est fournie par la forme respective des arcs de la nappe de rosée et de la nappe d'ébullition déterminés par

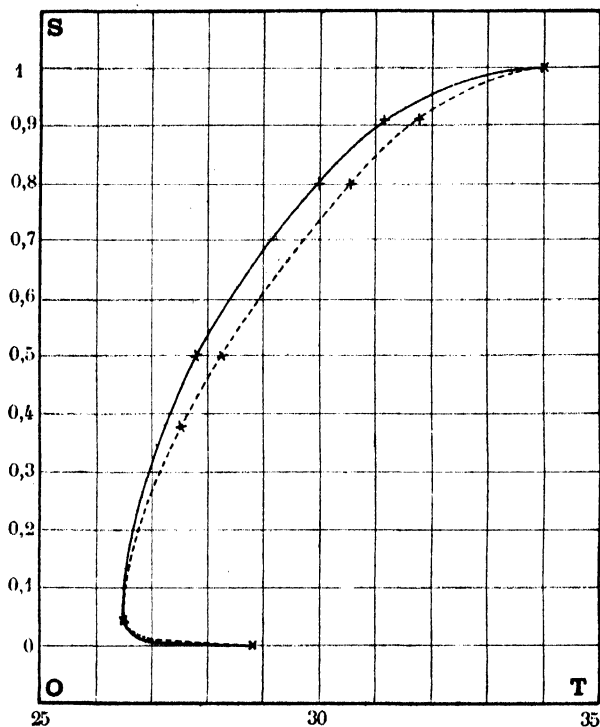


Fig. 6.

la section isotherme considérée, et compris entre les deux parallèles à OS, menées, respectivement, par les points 63,5 et 64,7 de l'axe OP.

Si, considérant toujours la même section isotherme, nous prenons la pression de 68 atmosphères par exemple, la parallèle à OS, correspondant à cette pression, coupe la surface limite en 4 points.

Dans ces conditions, deux séries de mélanges sont

susceptibles de se présenter sous les deux phases coexistantes liquide et vapeur.

Une première série, dont la concentration moyenne sera comprise entre 0,285 et 0,365. Pour cette première série, la concentration de la phase liquide sera toujours supérieure à la concentration de la phase vapeur coexistante. Pour chaque mélange, la concentration de chacune des phases ira constamment en diminuant le long de l'isotherme pratique correspondant à la température 26°5.

Une deuxième série, dont la concentration moyenne sera comprise entre 0,01 et 0,02 environ. Pour cette deuxième série, la concentration

de la phase liquide sera toujours inférieure à la concentration de la phase vapeur coexistante. Pour chaque mélange, la concentration de chacune des phases ira constamment en augmentant le long de l'isotherme pratique correspondant à la température 26°5.

Enfin, à la pression 68,7 atmosphères, la parallèle à OS touche la nappe de rosée et la nappe d'ébullition au même point, la concentration du liquide est égale à celle de la vapeur. Cette concentration commune est la concentration moyenne de l'unique mélange susceptible, dans ces conditions, de fournir deux phases coexistantes.

Pendant la liquéfaction, la pression n'augmente pas, c'est la même pression qui assure l'équilibre, quel que soit le volume total, et, par suite aussi, quels que soient les volumes respectifs des deux phases. C'est le point indifférent ou point de Gibbs et Konowalow. Le mélange des deux fluides se comporte comme un fluide unique, il a une tension maximum de vapeur saturée.

Tout ce qu'on vient de dire, à propos de la section isotherme de la surface limite, peut se répéter, *mutatis mutandis*, au sujet de la section isobare (*fig. 6*).

Il est d'ailleurs des cas extrêmement importants, où la construction de la section isobare est seule praticable, par exemple, dans les recherches de physico-chimie exécutées à la pression de l'atmosphère. C'est par la construction de sections isobares que MM. Bakhuis Roozboom, Van't Hoff et Meyerhoffer ont pu déterminer le point indifférent pour plusieurs (1) cristaux mixtes.

### § 3. — Les densités de vapeur saturée et de liquide saturé.

Pour les sept mélanges que nous avons étudiés, nous avons calculé, pour les diverses températures auxquelles les isothermes ont été construites, les densités de la vapeur saturée et du liquide saturé ; nous avons construit les courbes des densités, et avons reconnu que ces courbes étaient sensiblement des paraboles. C'est, comme on sait, le résultat qu'ont obtenu, en étudiant séparément les deux fluides

(1) Voir DUHEM, *Thermodynamique et Chimie*, II<sup>e</sup> leçon. Paris, Hermann, 6 et 12, rue de la Sorbonne.

anhydride carbonique et oxyde azoteux, MM. Cailletet et Mathias (1).

Les densités des vapeurs saturées des divers mélanges ont très sensiblement les mêmes valeurs que pour les fluides constituants, et on voit sur les courbes de MM. Cailletet et Mathias, que ces valeurs sont très voisines.

Les densités des liquide saturés sont, au contraire, et cela pour les sept mélanges, notablement plus faibles que les densités des liquides constituants, ce qui indique que le mélange des deux liquides, anhydride carbonique et oxyde azoteux, se fait avec augmentation de volume.

Enfin, les paraboles représentant la variation des densités des mélanges, se croisent dans les parties qui correspondent aux liquides. C'est là un fait également constaté, pour les deux gaz composants, par MM. Cailletet et Mathias.

#### § 4. — *La méthode expérimentale.*

L'appareil qui nous a servi dans cette nouvelle étude, est celui que nous avons utilisé dans notre premier travail.

La méthode de constitution des mélanges est la même.

Nous avons toujours pris l'anhydride carbonique liquéfié que l'on trouve en bouteilles dans le commerce, et son degré de pureté a été constaté par les mêmes moyens.

Une difficulté se présente pour l'oxyde azoteux, eu égard à l'impossibilité, où l'on se trouve encore aujourd'hui, d'avoir, pour ce gaz, un absorbant pratique. Nous l'avons pris dans le commerce également liquéfié en bouteilles. Après avoir perdu une cinquantaine de litres de gaz, on peut admettre qu'il est pur. Ce gaz ne pourrait donc plus contenir, comme impureté, que de l'air qui aurait pénétré dans l'appareil. Nous avons, dans chaque cas, vérifié que l'oxyde azoteux dirigé dans le flacon à mélanges était exempt d'air, grâce à la réaction, si sensible, de l'acide pyrogallique et de la potasse.

Dans les tableaux numériques qui suivent, les valeurs numériques des volumes sont exprimées en centimètres cubes, et rapportées à l'unité de masse (1 gramme) de chaque mélange. Les pressions sont évaluées en atmosphères.

(1) CAILLETET et MATHIAS, *Gaz liquéfiés* (*Journal de physique*, 2<sup>e</sup> série, t. V, p. 549, 1886).

1<sup>er</sup> Mélange

## COMPOSITION EN VOLUMES

CO<sub>2</sub>..... 0,9780                      Az<sup>2</sup>O..... 0,0220

## CONDITIONS INITIALES

V = 52°,198                      H = 738,1                      T = 15°,7  
 m<sub>1</sub> = 0,092572                      m<sub>2</sub> = 0,0020796

$$X_1 = \frac{m_2}{m_1 + m_2} = 0,021971.$$

## Isothermes

ISOTHERME 15°,3			ISOTHERME 23°,2		
Volume total	Vol. liquide	Pression	Volume total	Vol. liquide	Pression
12,681	»	35,71	12,681	»	37,30
10,868	»	40,12	10,868	»	42,00
9,051	»	45,27	9,051	»	47,70
7,234	»	51,65	7,234	»	54,88
6,689	Point de rosée	53,20	5,418	»	62,75
5,418	0,272	53,60	5,055	Point de rosée	64,1
3,601	0,772	53,90	3,601	0,545	64,1
1,603	1,603	54,50	2,330	1,181	64,1
			1,712	1,712	64,1
ISOTHERME 19°			ISOTHERME 27°,4		
12,681	»	36,37	12,681	»	38,23
10,868	»	40,92	10,868	»	43,20
9,051	»	46,27	9,051	»	49,13
7,234	»	52,73	7,234	»	56,77
5,963	Point de rosée	57,90	5,418	»	65,31
3,420	0,817	58,20	4,055	Point de rosée	70,13
1,966	1,453	58,50	2,693	0,999	70,30
1,658	1,658	58,70	1,921	1,921	70,33
ISOTHERME 30°,8. — Critique			ISOTHERME 30°,8. — Critique (suite)		
Volume total	Vol. liquide	Pression	Volume total	Vol. liquide	Pression
12,681	»	38,80	7,234	»	57,99
10,868	»	43,84	5,418	»	67,24
9,051	»	49,90	2,330	2,330	74,30

La ligne limite n° 1 présente un point de Gibbs et Konovalow à la température 23°,2 et à la pression 64,1 atmosphères.



2<sup>e</sup> Mélange

## COMPOSITION EN VOLUMES

CO<sup>2</sup>..... 0,9591                      Az<sup>2</sup>O..... 0,0409

## CONDITIONS INITIALES

V = 51<sup>cc</sup>,418                      H = 748                      T = 17° $m_1 = 0,089805$                        $m_2 = 0,003824$ 

$$X_2 = \frac{m_2}{m_1 + m_2} = 0,04085.$$

## Isothermes

ISOTHERME 16°,5			ISOTHERME 26°,5		
Volume total	Vol. liquide	Pression	Volume total	Vol. liquide	Pression
10,533	»	41,68	10,533	»	44,43
9,013	»	46,09	9,013	»	49,39
7,515	»	50,80	7,515	»	55,06
6,458	Point de rosée	54,67	6,005	»	61,73
4,496	0,453	55,07	4,496	»	68,30
2,911	0,904	55,21	4,232	Point de rosée	68,70
1,553	1,553	55,57	3,741	0,754	68,70
			1,817	1,817	68,70
ISOTHERME 20°,2			ISOTHERME 28°,4		
10,533	»	42,61	10,533	»	45,04
9,013	»	47,09	9,013	»	50,00
7,515	»	52,33	7,515	»	56,17
6,005	»	59,05	6,005	»	63,39
5,703	Point de rosée	59,60	4,496	»	70,21
4,043	0,528	59,80	3,892	Point de rosée	71,50
2,534	1,056	59,80	1,930	1,930	71,70
1,628	1,628	60,10			
ISOTHERME 23°,3			ISOTHERME 30°,7. — Critique.		
10,533	»	43,39	10,533	»	45,45
9,013	»	48,33	9,013	»	50,77
7,515	»	53,74	7,515	»	56,98
6,005	»	60,16	6,005	»	64,36
5,024	Point de rosée	63,58	4,496	»	72,03
3,817	0,528	63,80	3,213	Point de rosée	74,30
2,421	1,056	64,08	2,156	2,156	74,50
1,704	1,704	64,25			

La ligne limite n° 2 présente un point de Gibbs et Konovalow à la température 26°,5 et à la pression 68,70 atmosphères.

3<sup>e</sup> Mélange

## COMPOSITION EN VOLUMES

CO<sup>2</sup>..... 0,9257                      Az<sup>2</sup>O..... 0,0743

## CONDITIONS INITIALES

V = 51<sup>cc</sup>,2525                      H = 726,1                      T = 16°  
 m<sub>1</sub> = 0,085816                      m<sub>2</sub> = 0,006879

$$X_2 = \frac{m_2}{m_1 + m_2} = 0,07421.$$

## Isothermes

ISOTHERME 16°,2			ISOTHERME 23°		
Volume total	Vol. liquide	Pression	Volume total	Vol. liquide	Pression
12,950	»	34,97	12,950	»	36,33
11,098	»	39,43	11,098	»	40,95
9,243	»	44,63	9,243	»	46,65
7,388	»	50,93	7,388	»	53,89
6,600	Point de rosée	53,80	5,533	»	61,55
4,605	0,510	54,64	5,162	Point de rosée	62,80
3,214	0,8347	54,88	3,678	0,556	63,51
1,591	1,591	54,90	1,730	1,730	63,60
ISOTHERME 18°,6			ISOTHERME 26°,6		
12,950	»	35,46	12,950	»	37,16
11,098	»	39,97	11,098	»	41,96
9,243	»	45,23	9,243	»	48,00
7,388	»	51,83	7,388	»	55,63
5,997	Point de rosée	56,60	5,533	»	64,23
4,605	0,463	56,87	4,420	Point de rosée	68,65
2,565	0,927	57,07	3,492	0,463	68,87
1,637	1,637	57,60	2,379	1,252	68,87
			1,823	1,823	68,97
ISOTHERME 21°,4			ISOTHERME 29°		
12,950	»	36,01	12,950	»	37,54
11,098	»	40,57	11,098	»	42,36
9,243	»	46,23	9,243	»	48,46
7,388	»	53,20	7,388	»	56,20
5,533	Point de rosée	60,80	5,533	»	65,27
3,492	0,695	61,25	3,771	Point de rosée	72,20
2,658	0,988	61,47	1,962	1,962	72,20
1,684	1,684	61,60			

## ISOTHERME 37°,7. — Critique

Volume total	Vol. liquide	Pression
12,950	»	37,88
11,098	»	42,88
9,243	»	49,22
7,388	»	57,07
5,533	»	66,58
3,678	»	74,10
3,121	Point de rosée	74,50
2,287	2,287	74,70

La ligne limite n° 3 présente un point de Gibbs et Konovalow à la température de 29° et à la pression de 72,20 atmosphères.

4<sup>e</sup> Mélange

## COMPOSITION EN VOLUMES

CO<sup>2</sup>..... 0,7866                      Az<sup>2</sup>O..... 0,2134

## CONDITIONS INITIALES

V = 53<sup>cc</sup>,333                      H = 746                      T = 14<sup>o</sup>,2

m<sub>1</sub> = 0,07742                      m<sub>2</sub> = 0,020976

$$X_2 = \frac{m_2}{m_1 + m_2} = 0,21318.$$

## Isothermes

ISOTHERME 13 <sup>o</sup> ,6			ISOTHERME 23 <sup>o</sup>		
Volume total	Vol. liquide	Pression	Volume total	Vol. liquide	Pression
10,455	»	40,73	10,455	»	42,88
9,581	»	43,02	8,707	»	48,48
8,707	»	45,70	6,960	»	55,38
7,834	»	48,58	5,256	Point de rosée	62,60
7,650	Point de rosée	50,57	3,552	0,699	62,99
5,911	0,262	50,75	2,242	1,395	63,19
3,465	0,874	50,75	1,761	1,761	63,40
2,504	1,136	50,80			
1,587	1,587	51,50			
ISOTHERME 15 <sup>o</sup> ,3			ISOTHERME 25 <sup>o</sup>		
6,698	Point de rosée	52,82	9,581	»	46,20
5,649	0,349	52,92	8,707	»	49,28
3,989	0,612	52,92	7,834	»	52,66
3,552	1,048	52,95	6,960	»	56,39
2,679	1,281	52,95	6,086	»	60,52
1,630	1,630	53,80	5,212	»	64,11
			4,776	Point de rosée	65,80
			4,077	0,349	65,88
			3,115	0,743	66,08
			1,805	1,805	66,10
ISOTHERME 18 <sup>o</sup> ,3			ISOTHERME 26 <sup>o</sup> ,4		
13,950	»	33,64	8,707	»	49,75
12,202	»	37,06	6,960	»	57,32
10,455	»	41,70	6,086	»	61,16
8,707	»	46,99	5,212	»	65,09
6,960	»	52,94	4,513	Point de rosée	67,80
6,174	Point de rosée	56,20	3,290	0,612	67,80
4,330	0,480	56,38	2,504	1,136	68,00
2,635	1,005	56,58	1,875	1,875	68,10
1,674	1,674	57,20			

ISOTHERME 29°			ISOTHERME 29° (suite)		
Volume total	Vol. liquide	Pression	Volume total	Vol. liquide	Pression
10,455	»	44,75	3,902	Point de rosée	71,70
8,707	»	50,90	2,941	0,786	72,00
6,960	»	58,33	2,154	1,717	72,00
5,212	»	66,71	2,006	2,006	72,00

*Point critique.*

Volume	Température	Pression
2,766	31°2	75,8

Le point critique est un point de Gibbs et Konovalow, c'est donc un point de passage.  
La ligne limite n° 4 est ligne de passage.

5<sup>e</sup> Mélange

## COMPOSITION EN VOLUMES

CO<sup>2</sup>..... 0,4837                      Az<sup>2</sup>O..... 0,5163

## CONDITIONS INITIALES

V = 51<sup>cc</sup>,829                      H = 743,7                      T = 15<sup>o</sup>,3  
 m<sub>1</sub> = 0,046266                      m<sub>2</sub> = 0,04932

$$X_s = \frac{m_2}{m_1 + m_2} = 0,51597.$$

## Isothermes

ISOTHERME 14 <sup>o</sup> ,2			ISOTHERME 24 <sup>o</sup> ,2 (suite)		
Volume total	Vol. liquide	Pression	Volume total	Vol. liquide	Pression
8,840	»	45,26	5,883	»	59,85
7,361	Point de rosée	49,60	5,218	Point de rosée	62,80
5,883	0,333	49,73	4,404	0,295	63,00
4,404	0,665	50,53	2,926	0,924	63,45
2,926	0,961	50,73	1,773	1,773	64,00
1,580	1,580	51,00			
ISOTHERME 17 <sup>o</sup> ,1			ISOTHERME 26 <sup>o</sup>		
10,318	»	41,93	8,840	»	49,42
8,840	»	46,08	7,361	»	54,92
7,361	»	50,71	5,883	»	61,29
6,696	Point de rosée	53,10	4,774	Point de rosée	65,70
5,883	0,148	53,44	3,369	0,591	65,98
4,404	0,501	53,69	2,408	1,109	66,51
2,704	0,961	53,94	1,810	1,810	66,70
1,595	1,595	54,30			
ISOTHERME 21 <sup>o</sup> ,3			ISOTHERME 28 <sup>o</sup> ,4		
8,840	»	47,37	8,840	»	49,95
7,361	»	52,58	7,361	»	55,63
5,883	Point de rosée	58,40	5,883	»	62,49
4,404	0,414	58,59	4,404	»	68,75
2,778	0,961	58,80	4,330	Point de rosée	69,00
1,743	1,743	59,60	3,295	0,554	69,35
ISOTHERME 24 <sup>o</sup> ,2			2,189	1,552	69,63
8,840	»	48,76	1,869	1,869	69,90
7,361	»	53,88			
ISOTHERME 30 <sup>o</sup> ,2					
8,840	»	50,47			
7,361	»	56,62			

ISOTHERME 30°,2 (suite)			ISOTHERME 18°,8		
Volume total	Vol. liquide	Pression	Volume total	Vol. liquide	Pression
5,883	»	63,70	8,840	»	46,25
4,404	»	70,58	7,361	»	51,29
3,739	Point de rosée	71,90	6,400	Point de rosée	55,00
2,926	0,739	72,10	5,143	0,295	55,20
1,965	1,965	72,80	4,404	0,517	55,41
ISOTHERME 32°,2			2,704	1,035	55,91
8,840	»	51,28	1,632	1,632	56,40
7,361	»	57,36	<i>Point critique</i>		
5,883	»	61,78			
4,404	»	71,80	Volume	Temperature	Pression
3,111	Point de rosée	75,00	2,667	33°	76,8
2,630	0,887	75,23			
2,135	2,135	75,70			

## 6° Mélange

## COMPOSITION EN VOLUMES

CO<sup>2</sup>..... 0,1892                      Az<sup>2</sup>O..... 0,8108

## CONDITIONS INITIALES

V = 51<sup>cc</sup>,25                      H = 726                      T = 17°,1  
 m<sub>1</sub> = 0,017272                      m<sub>2</sub> = 0,073922

$$X_0 = \frac{m_2}{m_1 + m_2} = 0,81059.$$

## Isothermes

ISOTHERME 16°,4			ISOTHERME 26°,4		
Volume total	Vol. liquide	Pression	Volume total	Vol. liquide	Pression
11,278	»	38,84	13,167	»	36,82
9,394	»	43,80	11,278	»	41,38
7,509	Point de rosée	49,80	9,394	»	46,99
5,623	0,297	50,12	7,509	»	54,18
3,738	0,768	50,60	5,623	»	61,76
1,664	1,664	51,90	5,152	Point de rosée	63,00
			3,738	0,565	63,32
			2,512	1,225	63,95
			1,805	1,805	64,10
ISOTHERME 18°,8			ISOTHERME 28°,5		
13,167	»	35,05	11,278	»	41,92
11,278	»	39,49	9,394	»	47,68
9,394	»	44,50	7,509	»	54,85
7,509	»	50,41	5,623	»	63,14
6,943	Point de rosée	52,50	4,822	Point de rosée	65,90
5,058	0,472	52,78	3,738	0,565	66,22
3,502	0,768	53,38	2,559	1,178	66,47
1,711	1,711	54,40	1,852	1,852	66,80
ISOTHERME 23°,4			ISOTHERME 30°,8		
11,278	»	40,39	11,278	»	42,47
9,394	»	45,86	9,394	»	48,40
7,509	»	52,60	7,509	»	56,06
5,906	Point de rosée	58,40	5,623	»	64,75
4,681	0,377	58,78	4,304	Point de rosée	69,20
3,267	0,848	59,20	3,172	0,754	69,54
1,758	1,758	59,80	1,947	1,947	69,80



ISOTHERME 33°,4			ISOTHERME 33°,4 (suite)		
Volume total	Vol. liquide	Pression	Volume total	Vol. liquide	Pression
11,278	»	43,17	3,031	Point de rosée	73,70
9,394	»	49,44	2,795	1,037	74,07
7,509	»	57,24	2,135	2,135	74,10
5,623	»	66,27			

<i>Point critique</i>		
Volume	Température	Pression
2,889	34°,4	75,8

## 7° Mélange

## COMPOSITION EN VOLUMES

CO<sup>2</sup>..... 0,0808                      Az<sup>2</sup>O..... 0,9192

## CONDITIONS INITIALES

V = 51<sup>cc</sup>,365                      H = 735,8                      T = 18°,3

m<sub>1</sub> = 0,0074564

m<sub>2</sub> = 0,084715

$$X_7 = \frac{m_2}{m_1 + m_2} = 0,91906.$$

## Isothermes

ISOTHERME 16°,5			ISOTHERME 27°,5		
Volume total	Vol. liquide	Pression	Volume total	Vol. liquide	Pression
10,700	»	40,36	10,700	»	42,93
9,167	»	44,35	9,167	»	47,60
7,557	Point de rosée	48,90	7,634	»	52,73
6,101	0,306	49,35	6,101	»	59,30
4,567	0,613	49,65	5,104	Point de rosée	62,80
1,578	1,578	51,00	2,881	0,996	63,50
			1,769	1,769	63,90
ISOTHERME 22°			ISOTHERME 30°		
10,700	»	41,35	10,700	»	43,64
9,167	»	45,71	9,167	»	48,35
7,634	»	50,60	7,634	»	54,06
6,254	Point de rosée	55,50	6,101	»	60,69
4,567	0,459	55,80	4,644	Point de rosée	65,90
3,034	0,958	56,60	3,034	0,919	67,08
1,647	1,647	57,40	1,884	1,884	67,10
ISOTHERME 25°,1			ISOTHERME 33°,5		
10,700	»	42,33	10,700	»	44,42
9,167	»	46,92	9,167	»	49,65
7,634	»	52,30	7,634	»	55,63
6,101	»	58,00	6,101	»	62,50
5,717	Point de rosée	59,20	4,567	»	69,72
4,567	0,383	59,95	3,054	Point de rosée	71,10
2,958	0,996	60,63	2,038	2,038	72,00
1,667	1,667	61,00			

ISOTHERME 35°,2. — Critique		
Volume total	Vol. liquide	Pression
10,700	»	44,96
9,167	»	50,12
7,634	»	56,40
6,101	»	63,73
4,567	»	71,00
3,341	Point de rosée	73,60
2,268	2,268	74,50

## TABLE DES MATIÈRES

---

U. GAYON et C. SAUVAGEAU. — Notice sur la vie et les travaux de A. Millardet . . . . .	ix
J. PÉREZ. — De l'attraction exercée par les couleurs et les odeurs sur les insectes . . . . .	ix
G. RAYET. — Recherches sur la répartition moyenne des pluies dans le département de la Gironde . . . . .	37
U. GAYON. — Sur les éthers du vin. . . . .	53
J. KUNSTLER. — Le mécanisme des pontes anormales. . . . .	65
E. FALLOT. — Observations sur quelques <i>Scutellidæ</i> des terrains tertiaires de la Gironde et du Sud-Ouest. . . . .	73
H. DEVAUX. — Sur la nature de la lamelle moyenne dans les tissus mous . . . . .	89
P. DUHEM. — Stabilité et viscosité . . . . .	121
E. GOSSART. — Application de l'homéotropie à un essai d'analyse des alcools . . . . .	141
M. VÈZES. — Sur la distillation de la gemme. . . . .	181
L. MARCHIS. — Sur le déplacement du zéro des thermomètres. . . . .	217
E. VIGOUROUX. — Les silico-aluminures. . . . .	249
E. DUBOURG. — Recherches sur l' <i>Helicomycetium fuliginosum</i> . . . . .	263

A. GRUVEL. — Du polymorphisme des spermatozoïdes. . . . .	273
A. FÉRAUD. — Leçon sur les changements de variables. . . . .	281
P. COUSIN. — Démonstration d'un théorème sur certaines fonctions entières de $n$ variables complexes . . . . .	299
C. SAUVAGEAU. — Sur les variations du <i>Sphacelaria cirrosa</i> , et sur les espèces de son groupe. . . . .	309
F. CAUBET. — Liquéfaction des mélanges gazeux . . . . .	321



## II. — Observations thermométriques.

Les observations thermométriques ont été, pendant l'année 1904-1905, régulièrement faites dans les quatorze stations de : Phare de Grave, Château-Loudenne, Château-Lafite, Sainte-Hélène, Le Porge, Arès, Arcachon, Bordeaux, Floirac, Salle-bœuf, Lussac, Saint-Émilion, Château-d'Yquem et Budos.

Dans ces diverses stations nos collaborateurs ont été les mêmes que l'année précédente ; partout les relevés des minima et maxima thermométriques ont été faits avec beaucoup de soins et d'exactitude. Je suis certain que les nombres publiés dans les tableaux qui vont suivre sont exacts et qu'ils peuvent être utilisés avec confiance pour les études de climatologie agricole.

Au Jardin botanique de Talence, les interruptions sont nombreuses.

La température moyenne de la période 1904-1905 est très sensiblement la même que celle d'une année normale. Si juillet, août, octobre et décembre 1904, mars et avril 1905 ont été chauds, il a, en revanche, fait froid en septembre 1904, février et mai 1905.

En juillet, la température dépasse la moyenne de 2°,4 ; en août, il fait encore chaud, mais avec la seconde quinzaine de septembre, se produit un refroidissement brusque. La fin de novembre et les premiers jours de décembre sont très froids ; il gèle tous les matins, du 23 novembre au 3 décembre. On aurait pu croire l'hiver commencé, mais il ne se produit de nouveau de gelées intenses que du 1<sup>er</sup> au 4 janvier 1905. En février, il fait encore froid, mais les abondantes pluies de mars relèvent vite la température. En mai, il fait encore assez froid pour arrêter la végétation, mais il ne gèle pas.

Les deux tableaux suivants donnent les moyennes mensuelles des minima et maxima de chaque station.

# TEMPÉRATURES MOYENNES MINIMA ET MAXIMA

Année	Mois	PHARE de GRAVE		Château-Loudeac		CHATEAU-LAFITE		St-HELENE		LE FORGE		ARES		ARCACHON	
		Minima	Maxima	Minima	Maxima	Minima	Maxima	Minima	Maxima	Minima	Maxima	Minima	Maxima	Minima	Maxima
1904	Juin .....	14,2	22,2	13,6	22,8	12,9	23,5	12,1	25,0	12,1	24,4	12,3	24,4	13,7	24,0
—	Juillet ....	16,0	27,1	16,1	27,1	15,6	28,6	14,7	30,0	15,2	29,5	15,1	29,7	16,9	29,0
—	Août .....	15,8	25,2	15,5	25,9	14,7	26,3	13,0	29,0	13,2	27,6	13,6	28,2	16,1	26,9
—	Septembre.	12,2	22,2	11,7	21,4	11,3	22,0	9,7	23,9	9,2	23,1	10,1	24,2	11,9	22,6
—	Octobre...	10,5	19,2	10,1	18,8	8,1	18,5	7,0	20,0	6,5	20,8	6,8	20,0	9,4	18,8
—	Novembre.	4,8	12,4	4,3	11,8	2,7	11,0	1,7	13,1	1,8	13,2	1,0	13,7	3,7	12,6
—	Décembre..	5,2	10,9	4,6	10,1	3,5	9,9	3,3	10,7	4,0	12,1	3,0	10,9	4,0	10,8
1905	Janvier,...	1,9	8,6	1,3	7,4	0,6	7,1	-0,2	8,7	-0,8	8,9	-0,5	8,9	0,2	7,9
—	Fevrier....	2,4	9,3	1,8	9,0	1,3	8,3	0,9	9,7	0,3	9,5	0,8	10,5	1,5	9,5
—	Mars .....	6,2	14,3	5,2	13,6	5,4	14,3	4,8	15,2	4,3	14,1	5,4	15,2	5,4	14,9
—	Avril .....	8,6	16,3	6,9	15,7	7,5	16,7	7,0	17,8	6,3	16,7	7,2	18,3	7,7	17,3
—	Mai .....	9,4	18,3	8,3	17,3	8,5	18,7	7,8	19,7	7,0	18,0	8,0	19,6	9,2	19,5
	Moyenne.	8,93	17,17	8,29	16,75	7,68	17,08	6,82	18,57	6,59	18,16	6,90	18,63	8,31	17,82
	Température moyenne annuelle	13,05		12,52		12,38		12,70		12,38		12,77		13,07	

**COMMISSION MÉTÉOROLOGIQUE**

**DE LA GIRONDE**

---

**OBSERVATIONS PLUVIOMÉTRIQUES  
ET THERMOMÉTRIQUES**

**de Juin 1904 à Mai 1905**



## COMMISSION MÉTÉOROLOGIQUE DE LA GIRONDE

### Bureau.

*Président :* M. G. RAYET, directeur de l'Observatoire.  
*Vice-Présidents :* } M. BAYSELLANCE, ingénieur des Const. navales en retraite.  
                              } M. HAUTREUX, directeur des mouvem<sup>ts</sup> du port en retraite.  
*Secrétaire général :* N...  
*Secrétaire :* M. DELASSASSEIGNE, inspecteur des Eaux et Forêts.

### Membres.

MM. ALLIAUD, inspecteur d'Académie.  
BÉNARD, président de la Société d'Océanographie.  
CHAMINADE, inspecteur primaire à Blaye.  
CLAVEL, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, agent voyer en chef du département.  
DODEMAN, inspecteur primaire à La Réole.  
DROGUET, directeur des Postes et Télégraphes en retraite.  
FIGUIER, professeur honoraire de la Faculté de Médecine.  
GAYON, doyen de la Faculté des Sciences, directeur de la Station agronomique.  
GRUET, membre de la Chambre de Commerce.  
KAUFFMANN, ingénieur des Ponts et Chaussées.  
LORBLANCHER, inspecteur primaire à Bazas.  
MARLAS, inspecteur primaire à Lesparre.  
MEUNIER, ingénieur des Ponts et Chaussées.  
PARANT, inspecteur primaire à Libourne.  
PELOUX, conservateur des Eaux et Forêts.  
POITRINAL, inspecteur primaire à Bordeaux.  
ROTGÈS, inspecteur primaire à Bordeaux.  
VASSILLIÈRE, professeur départemental d'Agriculture.  
VIDAL, ingénieur en chef du Service maritime de la Gironde.

---

# OBSERVATIONS PLUVIOMÉTRIQUES

ET THERMOMÉTRIQUES

FAITES DANS LE DÉPARTEMENT DE LA GIRONDE

De Juin 1904 à Mai 1905.

---

## NOTE DE M. G. RAYET

Président de la Commission météorologique départementale.

---

### I. — Observations pluviométriques.

Pendant l'année 1904-1905, les observations pluviométriques ont été continuées suivant les mêmes méthodes et avec les mêmes instruments que pendant les périodes précédentes; il y a ainsi continuité absolue dans les observations udométriques du département, et les différentes séries d'observations sont comparables entre elles sans qu'il soit nécessaire de les soumettre à aucune correction préalable.

Les observateurs se sont, comme toujours, montrés très consciencieux et très exacts; les remarques ou réclamations qui ont dû leur être adressées ont été peu nombreuses. Tous, sauf l'École normale de La Sauve, ont accepté la diminution qui a dû leur être imposée par suite de la réduction de 500 francs faite par le Conseil général dans le budget de la Commission. Les observations de La Sauve sont faites néanmoins par les bons soins de M. le Directeur.

Les observations de la Gironde sont chaque mois centralisées à l'Observatoire de Bordeaux et immédiatement vérifiées par comparaison avec celles des stations voisines. Cette méthode laisse échapper peu d'erreurs et des tournées d'inspection permettent de s'assurer du bon état des instruments.

Les tableaux qui suivent cette note renferment les observa-

tions pluviométriques faites à huit heures du matin, dans trente-neuf stations de la Gironde; ils montrent le caractère général des pluies d'hiver et la localisation, souvent toute spéciale, des orages d'été.

Suivant la méthode employée depuis 1881 (24 ans), les observations journalières sont publiées au millimètre près (un zéro placé dans les tableaux signifie donc que l'udomètre a donné moins de un demi-millimètre d'eau), mais les totaux mensuels sont la somme exacte des quantités d'eau notées chaque fois au dixième de millimètre.

Les pages suivantes sont une brève analyse des mouvements généraux de l'atmosphère en 1904-1905 considérés au point de vue spécial de la météorologie du golfe de Gascogne.

*Été 1904.* — Dans les premiers jours de juin une zone de hautes pressions, venues du Sud-Ouest, se forme et se maintient sur les Iles Britanniques, le vent a alors une tendance à tourner au NE., mais néanmoins le ciel reste couvert et il se produit quelques orages sur les côtes de l'Océan. Une seconde et une troisième série d'orages s'observent du 8 au 9 et du 10 au 12 sous l'influence de faibles dépressions qui traversent la France de l'Ouest à l'Est.

A partir du 12, le vent tourne au N. et le temps est sec jusqu'au 17. Une série d'orages se produit alors sous l'action d'une bourrasque qui passe le 17 au nord de l'Écosse.

La fin du mois est belle avec hautes pressions dans l'Ouest et vents des régions N. ou NE.; il y a cependant, le 25, un orage local et une trombe d'eau à Saint-Avit-du-Moiron.

En juin, la température est variable, le temps orageux et la pluviosité presque normale.

Le mois de juillet est très beau jusqu'au 24. Ce jour-là et le lendemain, des orages intenses éclatent en Gironde sous l'influence d'une dépression barométrique venue de l'Ouest. Parmi eux, il faut signaler celui qui éclate le 24 au soir dans

la région de l'étang d'Hourtin (42<sup>mm</sup> de pluie à Grand-Mont) et celui qui le même soir traverse le département de Belin à La Sauve, à Saint-Émilion et à Sauveterre, pour aller finir aux Églisottes. Le beau temps est revenu dès le 27.

La température de juillet est en excès de 2°,4 sur la moyenne; 14 fois le maxima a été au-dessus de 30° et, le 17, il s'est élevé à 38°,5.

Quoique très élevées les températures de juillet ne sont cependant pas très exceptionnelles; il a fait plus chaud en juillet 1900, septembre 1895, août 1893, juillet 1881 et août 1899. Le 16 août 1892, le thermomètre est monté à 41°,9.

Juillet est très sec.

Le mois d'août est, comme le précédent, beau et sec. Les pressions assez élevées qui couvrent le sud de la France éloignent du golfe de Gascogne; les dépressions qui passent d'une manière continue au nord de l'Europe intéressent peu la vallée de la Garonne. Un orage, le 4 au soir, et quelques pluies, du 20 au 24, sont les seuls phénomènes à noter.

La température s'élève 11 fois au-dessus de 30° et sa moyenne dépasse de 1° la normale.

La quantité de pluie n'est que les deux tiers de la moyenne.

En résumé, l'été 1904 a été chaud, orageux et sec.

*Automne 1904.* — Jusqu'au 11 septembre, les bourrasques océaniques n'ont que peu d'action sur la vallée de la Gironde. La première qui s'approche vraiment du golfe de Gascogne est celle du 12 dont le centre est en Irlande et en Écosse. Elle est suivie d'une seconde dépression le 14. Sous leur influence il pleut faiblement du 12 au 15.

A partir du 16, un anticyclone se montre dans le nord-est de l'Europe, le vent tourne à l'E. ou au SE. Le temps est beau et sec jusqu'au 24.

Le 25, des dépressions orageuses se forment sur le golfe de Gascogne et les Pyrénées; le temps est orageux et pluvieux jusqu'au 28. Dans les derniers jours le ciel s'éclaircit.

Septembre est froid et sec. La quantité d'eau de Floirac est inférieure de 22 millimètres à la moyenne.

Pendant la première semaine d'octobre, le temps est variable et il pleut, soit sous l'influence de dépressions orageuses qui existent en Espagne, ou passent à la latitude de l'Écosse.

A partir du 8, un anticyclone oscille entre la mer du Nord, la Baltique et le nord de la Russie. Les vents sont alors de la région NE., le ciel assez découvert et le temps sec. Cette situation persiste jusqu'à la fin du mois.

Le mois d'octobre est chaud et remarquable par son degré de sécheresse; il n'est tombé que 21 millimètres d'eau, soit le cinquième de la quantité moyenne.

Les hautes pressions et les vents de NE. persistent jusqu'au 7 novembre. La situation atmosphérique se trouble alors par une violente tempête dont le centre (735<sup>mm</sup>) se trouve le 8 au matin vers Copenhague; le 9, le vent est ouest, violent sur la Manche, il pleut en Gascogne du 7 au 12.

Un anticyclone se reforme alors sur la Baltique, le centre de l'Allemagne et la France. Le temps est sec jusqu'au 21.

Du 22 au 26, des dépressions traversent la mer du Nord. Le vent tourne à l'W., les pluies sont assez abondantes.

La fin du mois de novembre est assez belle et froide; il y a encore un déficit de 20 millimètres dans la quantité d'eau recueillie à Floirac.

*Hiver 1904-1905.* — Le régime des vents d'W. et de SW. commence avec les premiers jours de décembre. Du 4 au 17, une demi-douzaine de tempêtes passent au nord de l'Écosse et sur la mer du Nord en se dirigeant vers la Baltique; elles se succèdent à quarante-huit heures d'intervalle et ne laissent pas au vent le temps de remonter jusqu'au NW. Dans la première quinzaine de décembre, il pleut tous les jours.

A partir du 17, une hausse barométrique rapide se produit

dans le Sud-Ouest, les bourrasques se trouvent repoussées loin de la Manche, un anticyclone se constitue sur la France.

Dans ces circonstances le ciel est nuageux ou beau.

La température moyenne de décembre est supérieure de 1°,4 à la moyenne, et la quantité de pluie presque normale.

L'anticyclone de décembre persiste pendant les premiers jours de janvier 1905, et en même temps la température s'abaisse d'une manière sensible. A partir du 5, la ligne de parcours des bourrasques s'abaisse cependant vers la Manche, le vent tourne à l'W. et au SW. ; il pleut dans toute la vallée de la Gironde entre le 4 et le 6.

Le 7, l'anticyclone reparait en France et si le ciel reste nuageux ou couvert, le temps est sec.

A partir du 14, une forte tempête, qui se montre à l'ouest de l'Irlande, repousse peu à peu les hautes pressions vers la Baltique, le vent tourne vers le S. ; la pluie commence le 15 et dure jusqu'au 18.

Le 19, un centre de hautes pressions est reformé sur la Baltique, la Russie et l'Allemagne et puis sur le golfe de Gascogne. Le vent souffle de nouveau des régions NE. Le beau temps persiste jusqu'à la fin du mois.

Le 28 janvier, le baromètre est à 790<sup>mm</sup> en Irlande.

Janvier est un peu froid ; le minimum de température (— 10°,9) s'est produit le 3 pendant une période de gelée qui n'a duré que quatre jours.

Pendant la première quinzaine de février, de hautes pressions atmosphériques existent en Espagne, dans le sud, puis dans l'ouest de l'Europe, en sorte que les vents sont NW. ou N. et le temps sec. A partir du 17, le centre des tempêtes se rapproche des côtes d'Angleterre, mais la première chute d'eau importante ne se produit que le 26 et le 27 sous l'action d'une forte tempête dont le centre se montre à cette date au nord de l'Écosse. La période pluvieuse n'est que de deux jours.

Février est très brumeux, froid et sec.

*Printemps 1905.* — Pendant la première semaine de mars, les pressions sont toujours élevées en Espagne, et les bourrasques qui traversent l'Europe, se dirigent de la mer du Nord à la Baltique en donnant sur nos côtes des vents de N W. et des pluies médiocres. La situation commence à changer le 9, et les tempêtes prennent la physionomie et la marche des tempêtes d'hiver avec vents forts du S W. et de l'W. Une première sévit du 11 au 13 : une seconde du 14 au 19 : il y a alors un jour de calme. Le mauvais temps recommence le 20 et dure jusqu'au 26. Nouvelle tempête le 27 et le 28. Les derniers jours du mois sont assez beaux.

En mars il y a vingt-six jours de pluie qui ont donné 100<sup>mm</sup> d'eau, soit plus du double de la quantité normale. C'est le premier mois pluvieux depuis mars 1904.

Dans le golfe de Gascogne, la première décade d'avril est assez belle, mais le 11, les dépressions barométriques apparaissent à l'ouest de l'Irlande et, avec la bourrasque du 13, la pluie commence, pour continuer jusqu'au 19 et au 20, la tempête ne cheminant que très lentement vers le sud-est à cause des hautes pressions de la Baltique. Le baromètre monte alors lentement dans l'Ouest, le vent tourne au N. et le temps est beau jusqu'à la fin du mois. Les pluies du 28 sont dues à une bourrasque de peu d'importance.

Avril est chaud et sec.

Le 1<sup>er</sup> mai, une bourrasque assez violente se montre sur la mer d'Irlande et les jours suivants elle marche vers le Nord-Est. Dès le 3, des centres locaux de dépression se forment sur la Méditerranée, et il pleut alors avec des vents de N.

A partir du 8, un anticyclone se forme sur l'Angleterre et la mer du Nord. Le temps est beau jusqu'à la fin du mois.

Le mois de mai est assez sec et sa température a été variable avec un refroidissement sensible du 22 au 25.

En résumé la période de juin 1904 à mai 1905 se distingue d'une année normale par une moyenne barométrique très

élevée, la persistance des anticyclones et une sécheresse continue. Si le nombre des jours de pluie est moyen, la quantité d'eau tombée donne un déficit de 177 millimètres. C'est un chiffre notable qui aura sûrement des conséquences sur le débit des sources. Le tableau suivant met en évidence les faits précédents.

### COMPARAISON

de la quantité de pluie tombée à l'Observatoire de Bordeaux (Floirac)  
en 1904-1905 avec la quantité normale.

ANNÉE	MOIS	MOYENNE MENSUELLE 1880 à 1900	ANNÉE 1904-1905 (FLOIRAC)	Rapport de 1904-1905 à la normale	JOURS DE PLUIE	
					en moyenne	1904-05
1904	Juin . . . .	74,6	67,9	0,91	16	16
—	Juillet . . .	47,3	25,6	0,54	13	7
—	Août . . . .	46,9	34,0	0,72	13	11
—	Septembre .	59,7	38,3	0,64	15	15
—	Octobre . .	96,6	20,9	0,22	19	14
—	Novembre .	73,8	53,9	0,73	20	16
—	Décembre .	71,1	69,1	0,97	22	22
1905	Janvier . .	51,4	46,0	0,90	20	14
—	Février . .	49,3	33,4	0,68	16	19
—	Mars . . . .	48,6	100,0	2,06	16	26
—	Avril . . . .	71,0	52,4	0,74	18	19
—	Mai . . . . .	68,4	40,3	0,59	17	11
	Été . . . . .	168,8	127,5	0,75	42	34
	Automne . .	230,1	113,1	0,49	54	45
	Hiver . . . .	171,8	148,5	0,86	58	55
	Printemps .	188,0	192,7	1,03	51	56
	ANNÉE . . .	758,7	581,8	0,77	205	190

Dans le tableau ci-dessus, on a compté comme jours de pluie tous ceux où le pluviomètre de l'Observatoire a donné une quantité d'eau mesurable, si faible qu'elle soit; le nombre des jours de pluie de la saison froide est donc augmenté de tous ceux dans lesquels la gelée blanche ou le brouillard ont déposé de la rosée dans l'udomètre. Si l'on ne comptait, comme cela a été parfois l'usage, que le nombre des jours où l'observation pluviométrique a donné plus de un demi-millimètre d'eau, celui-ci serait très sensiblement moindre.

Le tableau suivant résume, par saisons et pour l'année



entière, les observations pluviométriques de la Gironde; il montre que, dans toutes les stations, l'été, l'automne et l'hiver ont été secs. Le printemps seul a été humide par suite de l'abondance exagérée des pluies de mars.

# RÉSUMÉ DES OBSERVATIONS PLUVIOMÉTRIQUES DE LA GIRONDE

de Juin 1904 à Mai 1905.

STATIONS	OBSERVATEURS	ÉTÉ 1904	AUTOMNE 1904	HIVER 1904-1905	PRINTEM. 1905	ANNÉE
		mm	mm	mm	mm	mm
La Coubre.	Les guetteurs du sémaphore	90,1	129,2	160,2	155,0	534,5
Phare de Grave.	M. Magnin, chef gardien..	143,2	127,9	195,9	206,9	673,9
Saint-Nicolas.	M. Peyruse, brig. forestier	149,8	131,3	207,6	203,4	692,1
Grand-Mont.	M. Ducourret, brig. forest.	198,8	158,3	231,1	178,4	766,6
Phare d'Hourtin.	M. Camoreyt, chef gardien.	183,0	165,1	209,9	175,1	733,1
Mouthic.	M. Darrigade, brig. forest..	101,2	113,6	194,3	156,9	566,0
Gressier.	M. Lacaze, garde forest. l..	135,5	159,8	190,2	180,5	666,0
Le Porge.	M. Gassian, instituteur...	144,5	124,8	196,3	160,1	625,7
Arès.	La Mère sup <sup>re</sup> . de la Maison de santé.	143,7	173,1	193,4	172,4	682,6
Piquey.	M. Laborde, brig. forestier.	118,5	173,7	204,7	178,4	675,3
Arcachon.	M. Claveranne, jardin <sup>er</sup> du Casino	82,7	184,5	203,1	173,2	643,5
Audenge.	M. Gassian, instit. en retraite	124,8	176,1	219,5	184,3	704,7
Cazaux.	M. Castéra, propriétaire..	50,1	207,7	225,5	186,2	669,5
La Salie.	M. Bosq, garde forestier...	76,3	181,5	195,7	217,4	670,9
Château-Loudenne.	Le régisseur du château...	129,5	114,7	"	"	"
Château-Lafite.	M. Bugat, régisseur.....	124,9	102,9	206,5	159,2	593,5
Saint-Julien.	M. Cougouille, instituteur.	120,1	143,0	233,3	"	"
Sainte-Hélène.	M. Goulle, instituteur...	121,3	118,1	203,4	176,0	621,8
Pierroton.	M. l'aris, homme d'affaires.	117,0	122,8	164,5	148,7	553,0
Belin.	M. Rozie, greffier de la just. de paix.	134,7	175,6	187,0	204,2	701,5
Cavignac.	M. Jayle, pharmacien.....	149,1	117,9	161,3	174,0	602,3
St-André-de-Cubzac.	M. Lorans, chef de gare...	118,6	119,7	178,7	180,6	597,6
Sallebeuf.	M. Edouard Eiffel.....	120,1	129,2	163,4	212,2	624,9
Floirac (Observat <sup>re</sup> ).	Observatoire astronomique.	127,5	113,1	148,5	192,7	581,8
Bordeaux (dir. des Eaux)	MM. les mécaniciens.....	127,5	112,9	169,0	185,8	595,2
Talence.	M. Mauriceau, chef de cult.	139,8	100,1	165,8	195,8	601,5
La Sauve.	Ecole normale.....	128,5	129,8	159,2	196,6	614,1
Château-d'Yquem.	M. Lafon, maître de chai..	114,7	112,6	136,8	165,6	529,7
Budos.	M. Lacoste, garde des sources.	132,2	141,9	184,1	189,9	648,1
Les Églisottes.	M. Momelat, instituteur...	134,4	112,6	160,4	193,8	601,2
Lussac.	M. Serre, instituteur.....	129,9	87,9	146,5	135,5	499,8
Saint-Emilion.	M. Jolit, homme d'affaires..	169,8	122,5	131,0	198,2	621,5
Sauveterre.	M. Lagarde, instituteur...	109,5	138,2	156,6	158,1	562,4
Col-de-Fer.	Service des Ponts et Chauss.	96,1	99,6	124,8	150,2	470,7
Lamothe-Landerron.	M. Grousset, instituteur...	117,6	108,5	134,0	187,3	547,4
Crignols.	MM Duprat et Dutrieu, inst.	161,3	138,6	164,4	235,5	699,8
Capiteux.	M. Coutures, instituteur...	173,6	150,5	184,0	203,1	719,2
St-Antoine-sur-l'Isle.	M. Denis, instituteur.....	86,6	118,2	160,6	218,8	584,2
St-Avit-du-Moiron.	M. Pagès, chef cantonnier.	173,6	108,1	140,8	207,9	630,4

A la suite de ce tableau, je placerai le résumé, par saisons, des observations de la Charente, de la Charente-Inférieure, des Landes et des Basses-Pyrénées. Je suis redevable de ces

observations à MM. les Ingénieurs en chef de ces départements ou à nos collègues des Commissions météorologiques. Qu'ils veuillent bien recevoir ici l'expression des remerciements de la Commission météorologique.

RÉSUMÉ DES OBSERVATIONS PLUVIOMÉTRIQUES FAITES DANS LA CHARENTE,  
LA CHARENTE-INFÉRIEURE, LES LANDES ET LES BASSES-PYRÉNÉES.

(Juin 1904 à Mai 1905.)

STATIONS	ÉTÉ 1904	AUTOMNE 1904	HIVER 1904-1905	PRINTEMPS 1905	ANNÉE
<b>Charente.</b>	mm	mm	mm	mm	mm
Ruffec .....	135,8	68,3	218,3	234,9	657,3
Confolens .....	181,2	100,7	196,8	201,2	679,9
Champagne-Mout. ....	215,0	137,1	122,6	182,0	656,7
Aigre .....	106,8	89,6	155,4	210,7	562,5
Chabonais .....	186,0	71,9	135,7	212,3	605,9
Rouillac .....	166,1	112,6	181,9	235,2	695,8
Les Rassats .....	152,1	91,8	178,3	205,7	627,9
Cognac .....	115,6	94,9	140,9	171,5	522,9
Montbron .....	163,1	86,5	212,0	228,7	690,3
Angoulême (stat. princ.)	102,1	58,7	126,6	169,7	457,1
Angoulême (poudrerie).	112,4	90,8	155,4	186,1	544,7
Barbezieux .....	156,0	104,9	159,3	217,1	637,3
Blanzaguet .....	127,5	88,5	131,0	132,0	479,0
Chalais .....	171,4	98,2	164,7	195,1	629,4
<b>Charente-Inférieure.</b>					
Chassiron (sémaphore).	82,3	126,9	160,7	141,2	511,1
Royan .....	97,0	113,0	146,0	226,0	582,0
Montguyon .....	173,0	103,0	145,0	139,0	560,0
Saintes .....	125,0	72,0	112,0	177,0	486,0
La Rochelle .....	104,0	132,0	184,0	162,0	582,0
Bernouet .....	62,0	63,0	52,0	150,0	327,0
Bel-Ebat .....	114,0	65,0	128,0	219,0	526,0
Jonzac .....	119,0	78,0	88,0	160,0	445,0
<b>Landes.</b>					
Pissos .....	138,8	192,2	210,4	229,0	770,4
Roquefort .....	149,7	125,9	182,6	201,9	660,1
Mont-de-Marsan .....	224,4	171,6	195,1	205,4	796,5
Tartas .....	226,0	214,7	182,1	162,8	785,6
Saint-Sever .....	158,4	203,2	216,5	187,6	765,7
Dax .....	152,5	203,9	309,9	200,9	957,2
Aire .....	178,3	160,8	163,8	203,3	706,2
Peyrehorade .....	78,2	130,4	195,4	255,2	659,2
<b>Basses-Pyrénées.</b>					
Biarritz (sémaphore).	134,5	349,9	199,2	263,9	947,5

Les nombres de la page 10 et quelques-uns des résultats des observations de la Charente, de la Charente-Inférieure et des Landes ont servi à tracer sur la carte ci-jointe les courbes d'égalés quantités de pluie. Ces lignes ont été assez difficiles à dessiner comme cela arrive toujours dans les années sèches. Avec une diminution de un quart ( $177^{\text{mm}}$  sur  $759^{\text{mm}}$ ) dans la quantité de pluie, les phénomènes orageux ne passent plus inaperçus, et dans l'été 1904 il y a eu en Gironde trois orages importants : Le premier est celui du 24 juin qui en quelques heures a déversé  $44^{\text{mm}}$  d'eau sur Saint-Avit-du-Moiron (vallée de la Dordogne); le second et le troisième sont les deux orages du 24 juillet. L'un d'eux a pénétré dans le département par l'étang d'Ilourtin et s'est transporté de l'OSO. à l'ENE.; il a donné  $42^{\text{mm}}$  de pluie à Grand-Mont. L'autre s'est fait sentir sur la Benauge (Sauveterre  $42^{\text{mm}}$ ), puis sur la haute plaine entre la Dordogne et l'Isle, et enfin est venu se terminer dans la vallée de la Dronne vers les Eglisottes ( $36^{\text{mm}}$ ). Ce dernier orage a donné de la grêle dans le Saint-Émilionais.

Enfin, le 5 et le 6 mai de cette année 1905, des pluies abondantes, qui ont donné en deux jours jusqu'à  $60^{\text{mm}}$  d'eau, sont tombées dans le Bazadais.

Le mode de distribution des pluies en 1904-1905 confirme d'ailleurs d'une manière approchée les conclusions générales des années précédentes. Il y a toujours un maximum de pluie sur la ligne de partage des eaux de la Garonne et de l'Océan, la quantité de pluie croît du nord au sud et cette croissance se prolonge jusqu'aux Pyrénées.

La sécheresse de 1904-1905 aura une répercussion certaine sur le débit des sources pendant l'été et l'automne de 1905. On peut, avec certitude je crois, prédire qu'il s'abaissera.

---

TEMPÉRATURES MOYENNES MINIMA ET MAXIMA (suite)

Année	Mois	BORDEAUX		FLOIRAC		SALLERUEUF		LUSSAC		SAINT-ÉMILION		CHÂTEAU-D'YQUEM		BUDOS	
		Minima	Maxima	Minima	Maxima	Minima	Maxima	Minima	Maxima	Minima	Maxima	Minima	Maxima	Minima	Maxima
1904	Juin.....	13,4	25,7	13,2	24,5	13,5	24,2	13,0	25,2	13,9	25,1	13,1	24,8	11,9	25,3
—	Juillet....	16,2	31,5	16,4	30,0	16,6	29,6	15,9	31,3	16,2	31,0	16,0	30,2	13,9	31,0
—	Août.....	15,3	29,5	15,5	28,4	15,4	27,8	14,1	30,0	15,2	29,2	15,2	28,9	13,1	29,7
—	Septembre.	11,1	24,2	11,7	23,3	11,6	22,5	10,1	24,4	11,6	23,9	11,2	23,1	8,7	23,9
—	Octobre...	8,4	20,6	9,0	19,7	8,9	18,8	7,4	19,5	7,7	20,1	8,2	19,5	5,6	20,4
—	Novembre.	2,8	13,0	2,9	12,4	3,3	11,0	2,2	12,2	1,3	12,4	2,6	12,1	0,5	12,8
—	Décembre.	3,6	10,8	3,7	10,4	4,1	9,4	3,3	9,5	2,9	9,8	3,6	10,5	2,7	10,8
1905	Janvier...	0,7	8,4	0,4	7,8	0,4	6,9	-0,2	7,7	0,2	7,7	-0,5	7,8	-2,5	8,1
—	Février....	1,6	10,0	1,7	9,1	2,0	8,5	1,4	9,0	1,7	9,2	1,5	9,1	-0,1	9,7
—	Mars.....	5,7	15,9	5,8	15,6	6,0	14,4	5,7	14,9	6,0	15,0	5,5	15,4	4,3	16,0
—	Avril.....	8,0	18,5	7,8	17,8	7,7	17,2	7,6	18,3	8,0	17,9	7,6	18,0	6,3	18,5
—	Mai.....	8,2	20,2	8,5	19,5	8,7	19,1	8,7	20,7	8,6	20,1	8,2	20,0	6,3	20,5
	Moyenne.	7,92	19,02	8,05	18,21	8,18	17,45	7,43	18,56	7,78	18,45	7,68	18,29	5,89	18,89
	Température moyenne annuelle.	13°,47		13°,13		12°,82		13°,00		13°,12		12°,90		12°,30	

Les températures moyennes des diverses stations sont peu différentes entre elles. Les stations les plus froides sont : Château-Lafite, Le Porge et Budos (12°,38). La plus chaude est Bordeaux (Service des Eaux) (13°,47).

Le tableau suivant montre les comparaisons de la marche de la température en 1904-1905 avec la marche normale déduite des observations faites à Floirac de 1880 à 1900.

**Comparaison de la température observée à Floirac en 1904-1905 avec la moyenne des vingt et une années de 1880-1900.**

ANNÉE ET MOIS	TEMPÉRATURE MOYENNE A FLOIRAC (1880-1900)	TEMPÉRATURE de 1904-1905	ÉCART DE 1904-1905 à la moyenne
1904 Juin.....	18,7	18,8	+ 0,1
— Juillet....	20,8	23,2	+ 2,4
— Août.....	20,8	21,9	+ 1,1
— Septembre	18,7	15,8	- 2,9
— Octobre...	13,4	14,4	+ 1,0
— Novembre.	9,3	7,6	- 1,7
— Décembre.	5,8	6,9	+ 1,1
1905 Janvier ...	4,7	4,1	- 0,6
— Février...	7,1	5,4	- 1,7
— Mars.....	9,1	10,7	+ 1,6
— Avril.....	11,8	12,8	+ 1,0
— Mai.....	15,1	14,0	- 1,1
Moyenne.	12,9	13,0	+ 0,1

Pendant la saison chaude, les journées de grande chaleur (maxima au-dessus de 30°) ont été nombreuses. A Floirac on en a observé : 3 en juin, 14 en juillet, 11 en août, 1 en septembre. Le total est de 29, nombre très supérieur à la moyenne des années précédentes, mais les périodes de grandes chaleurs ont été courtes; elles n'ont jamais dépassé 3 ou 4 jours.

Les températures maxima absolues sont très concordantes quant à leur grandeur; elles se sont toutes produites le 17 juillet par un vent d'ESE. faible. Elles sont réunies dans le tableau suivant :

TEMPÉRATURES MAXIMA EN 1904	
Phare de Grave.....	36,8
Château-Loudenne...	37,0
Château-Lafite.....	37,6
Sainte-Hélène.....	39,3
Le Porge.....	39,1
Arès.....	40,9
Arcachon.....	40,4
Talence.....	38,5
Bordeaux (Don des Eaux).	39,9
Floirac.....	38,5
Sallebœuf.....	37,6
Lussac.....	38,8
Saint-Émilion.....	39,4
Château-d'Yquem....	38,0
Budos.....	38,7

le 17 juillet 1904.

Ces maxima absolus n'ont pas une grandeur exagérée; en août 1898 et juillet 1900, le thermomètre a atteint 39°,0; le 16 août 1892, il est monté à 41°,9.

Pendant la saison froide, le nombre des jours de gelées est moyen et, en général, elles sont peu intenses.

NOMBRE DES JOURS DE GELÉE EN 1904-1905									
	octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	TOTAL
Phare de Grave....	0	8	2	8	6	1	0	0	25
Château-Loudenne.	0	8	3	11	7	1	0	0	30
Château-Lafite....	0	11	3	14	11	1	0	0	40
Sainte-Hélène.....	1	12	4	15	9	1	0	0	42
Le Porge.....	2	12	4	17	11	3	0	0	49
Arès.....	1	13	7	17	12	1	0	0	51
Arcachon.....	0	8	5	15	9	1	0	0	38
Talence.....	2	17	13	22	15	3	0	0	72
Bordeaux (Don des Eaux).	0	9	3	14	10	0	0	0	36
Floirac.....	0	8	5	11	9	1	0	0	34
Sallebœuf.....	0	9	5	14	6	1	0	0	35
Lussac.....	0	11	6	16	11	1	0	0	45
Saint-Émilion.....	0	11	9	17	8	1	0	0	46
Château-d'Yquem.	0	10	7	21	10	2	0	0	50
Budos.....	4	17	8	25	12	4	1	1	72

La première gelée se produit: le 10 octobre à Budos (— 1°,2); le 11 octobre au Porge (— 0°,5), à Arès (— 0°,3),

à Talence ( $-0^{\circ},8$ ); le 12 octobre à Sainte-Hélène ( $-0^{\circ},2$ ); le 4 novembre, à Bordeaux ( $-0^{\circ},2$ ), à Saint-Émilion ( $-0^{\circ},7$ ), à Yquem ( $-2^{\circ},0$ ); le 16 novembre à Lafite ( $0^{\circ},0$ ); le 18 novembre à Arcachon ( $-0^{\circ},9$ ), à Sallebœuf ( $-1^{\circ},2$ ), à Lussac ( $-1^{\circ},0$ ); le 19 novembre à Loudenne ( $-1^{\circ},2$ ), à Floirac ( $-2^{\circ},0$ ); enfin, le 21 novembre au phare de Grave ( $-0^{\circ},7$ ). Les gelées de la région landaise sont peut-être un peu hâtives.

La dernière gelée a lieu : le 1<sup>er</sup> mars à Arcachon ( $-0^{\circ},3$ ); le 5 mars au phare de Grave ( $-1^{\circ},6$ ), à Loudenne ( $-0^{\circ},8$ ), à Lafite ( $-1^{\circ},4$ ), à Sainte-Hélène ( $-2^{\circ},3$ ), à Arès ( $-1^{\circ},0$ ), à Talence ( $-0^{\circ},8$ ), à Floirac ( $0^{\circ},0$ ), à Sallebœuf ( $-0^{\circ},2$ ), à Lussac ( $-1^{\circ},2$ ), à Saint-Émilion ( $-0^{\circ},7$ ); le 25 mars au Porge ( $-1^{\circ},0$ ) et à Yquem ( $0^{\circ},0$ ); le 25 mai à Budos ( $-0^{\circ},3$ ).

Voici maintenant le tableau des minima extrêmes.

TEMPÉRATURES MINIMA EN 1904-1905.		
Phare de Grave.....	$-8,8$	} le 3 janvier 1905.
Château-Loudenne ...	$-8,5$	
Château-Lafite. ....	$-10,1$	
Sainte-Hélène.....	$-11,0$	
Le Porge .....	$-11,4$	
Arès .....	$-11,3$	
Arcachon.....	$-10,0$	
Talence.....	$-10,6$	
Bordeaux (Don des Eaux).	$-9,7$	
Floirac .....	$-10,9$	
Sallebœuf.....	$-11,0$	
Lussac .....	$-11,0$	
Saint-Émilion .....	$-11,3$	
Château-d'Yquem....	$-12,4$	
Budos.....	$-15,8$	

Ces minima, qui n'ont rien d'excessif, se sont tous produits le 3 janvier, en même temps qu'une rotation brusque du vent au NNW. Ce refroidissement, venant après un mois de décembre chaud, a gelé un assez grand nombre de plantes.

# TABLEAUX

DES

Observations pluviométriques et thermométriques



# Commission Météorologique de la Gironde. — Pluies de Juin 1904.

STATIONS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	Totaux mm
La Coubre.....	10	0	.	.	1	6	5	.	11	.	1	1	.	.	.	.	3	.	.	.	.	.	.	.	5	.	.	.	7	49,9	
Phare de Grave.....	6	1	.	3	9	1	8	0	20	.	2	3	.	.	.	.	7	.	.	.	.	.	.	.	4	.	.	.	2	67,0	
Saint-Nicolas.....	3	.	.	0	7	6	3	2	11	1	5	5	.	.	.	.	10	.	.	.	.	.	.	.	3	.	.	.	4	58,4	
Grand-Mont.....	2	.	.	.	11	14	.	2	10	.	6	7	2	.	.	.	18	.	.	.	.	.	.	.	5	.	.	.	4	82,4	
Phare d'Hourtin.....	1	.	.	.	15	3	.	1	10	2	6	2	.	.	.	.	19	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	6	67,2	
Mouléhic.....	.	.	.	.	6	9	0	1	6	5	3	6	.	.	.	.	6	.	0	.	.	.	.	.	1	.	0	2	15,9		
Gressier.....	.	0	0	.	0	.	.	1	12	.	9	4	0	.	.	.	7	.	.	.	.	.	.	.	2	.	1	12	18,2		
Le Porge.....	.	1	1	.	2	1	.	4	7	1	11	8	.	.	.	.	8	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	15	58,9	
Arès.....	.	.	.	.	24	17	.	17	6	1	10	5	1	.	.	.	9	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	7	99,0	
Piquey.....	.	.	0	.	30	0	.	5	5	.	6	2	.	.	.	.	7	.	.	.	.	.	.	.	2	0	.	1	2	60,6	
Arcachon.....	1	.	.	.	6	4	.	5	10	.	8	2	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	41,0	
Audenge.....	0	.	.	5	15	.	.	4	6	.	22	8	1	.	.	.	3	.	.	.	.	.	.	.	2	.	17	5	89,0		
Cazaux.....	.	.	1	2	.	.	.	.	6	.	8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	16,5	
La Salie.....	.	.	.	.	1	2	.	5	10	.	10	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	7	3	39,1		
Château-Loude.....	3	.	.	1	.	.	.	13	1	3	1	.	.	.	.	.	19	.	.	.	.	.	.	.	3	.	.	.	4	47,0	
Château-Lafite.....	1	.	.	0	3	.	.	9	0	4	9	.	.	.	.	.	26	.	.	.	.	.	.	.	2	1	.	.	4	58,3	
Saint-Julien.....	.	.	.	5	2	1	.	7	6	7	.	.	.	.	.	.	24	.	.	.	.	.	.	.	3	0	.	.	4	60,3	
Sainte-Hélène.....	.	.	0	2	.	3	.	13	7	2	11	8	.	.	.	.	19	.	.	.	.	.	.	.	2	.	5	1	71,5		
Pierroton.....	1	0	0	.	1	0	.	16	0	16	8	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	3	.	4	9	61,3		
Belin.....	.	1	1	0	0	8	3	7	15	.	22	12	.	.	.	.	5	.	.	.	.	.	.	.	1	1	8	8	92,5		
Cavignac.....	0	.	.	.	1	2	.	15	.	8	22	.	.	.	.	.	22	.	.	.	.	.	.	.	1	2	.	.	13	84,9	
Saint-André-de-Cubzac.....	.	.	.	.	.	.	.	15	.	7	1	.	.	.	.	.	0	.	.	.	.	.	.	.	.	6	.	22	60,9		
Sallebeuf.....	.	0	.	.	.	.	.	16	.	13	18	.	.	.	.	.	3	.	.	.	.	.	.	.	1	3	.	.	19	74,6	
Floirac (Observatoire).....	0	1	2	1	1	1	.	8	13	.	12	10	0	.	.	.	8	.	.	.	.	.	.	.	2	0	.	5	4	67,9	
Bordeaux (D <sup>m</sup> des Eaux).....	0	.	4	4	.	2	.	7	15	.	16	9	1	.	.	.	3	.	.	.	.	.	.	.	18	0	.	3	3	81,8	
Talence.....	.	0	1	5	1	8	6	13	.	15	10	0	.	.	.	.	6	.	.	.	.	.	.	.	3	.	.	.	6	76,3	
La Sauve.....	0	2	.	.	.	.	.	0	10	8	.	11	20	.	.	.	6	.	.	.	.	.	.	.	3	2	.	.	8	69,3	
Château-d'Yquem.....	.	.	.	4	.	.	6	17	15	.	9	16	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	13	81,2	
Budos.....	2	.	2	1	.	1	0	34	11	.	16	12	.	.	.	.	3	.	.	.	.	.	.	.	0	.	3	12	95,1		
Les Eglisottes.....	.	2	.	.	.	1	6	.	15	.	11	15	.	.	.	.	11	.	.	.	.	.	.	.	3	2	.	.	17	82,0	
Lussac.....	2	1	.	.	1	.	1	.	20	.	11	19	.	.	.	.	5	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	11	71,4	
Saint-Emilion.....	0	0	.	.	4	.	2	.	22	.	12	29	.	.	.	.	7	.	.	.	.	.	.	.	2	0	2	.	21	100,5	
Sauveterre.....	1	0	0	.	.	.	0	.	11	.	15	12	.	.	.	.	6	.	.	.	.	.	.	.	.	0	0	.	13	58,0	
Col-de-Fer.....	2	.	6	.	.	.	.	2	5	.	23	9	.	.	.	.	8	.	.	.	.	.	.	.	5	0	.	2	6	66,1	
Lamothe-Landerron.....	1	0	0	.	2	0	3	1	10	0	22	12	0	.	.	.	13	.	.	.	.	.	.	.	1	0	.	.	12	83,4	
Grignols.....	.	.	.	9	.	1	6	2	12	.	25	22	.	.	.	.	10	.	.	.	.	.	.	.	12	.	.	.	17	115,8	
Captieux.....	0	.	.	3	13	21	4	2	12	0	25	15	.	.	.	.	16	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	11	14	135,5	
Saint-Antoine-sur-l'Isle.....	2	1	.	.	.	.	3	.	9	.	7	15	.	.	.	.	4	.	.	.	.	.	.	.	.	0	.	.	9	48,9	
Saint-Avit-du-Moiron.....	.	2	.	.	3	2	5	.	7	.	15	23	.	.	.	.	10	.	.	.	.	.	.	.	44	2	1	.	6	117,5	

Commission Météorologique de la Gironde. — *Pluies de Juillet 1904.*

STATIONS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Totaux mm
La Coubre.....	0	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	12	4	2	.	.	.	.	0	18,3
Phare de Grave.....	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	29	15	8	.	.	.	.	.	55,9
Saint-Nicolas.....	6	.	.	.	.	.	.	.	.	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	31	8	2	.	.	.	.	.	46,3
Grand-Mont.....	.	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	12	9	2	.	.	.	.	61,0
Phare d'Hourtin.....	6	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10	0	.	.	.	.	.	.	45,8
Moutchic.....	1	4	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	1	0	.	.	.	.	.	10,3
Gressier.....	3	4	.	.	.	.	.	.	1	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	19	6	1	.	.	.	.	.	32,7
Le Porge.....	2	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	24	7	.	.	.	.	.	.	38,3
Arès.....	.	8	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	12	9	.	.	.	.	.	.	28,7
Piquey.....	3	2	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	12	15	.	.	.	.	.	.	32,7
Arcachon.....	5	1	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10	1	.	.	.	.	.	.	19,0
Audenge.....	2	.	.	.	.	.	.	2	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	2	.	.	.	.	.	.	10,0
Cazaux.....	5	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10	.	.	.	.	.	.	.	17,0
La Salie.....	2	3	.	.	.	.	.	1	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	12	.	.	.	.	.	.	.	19,4
Château-Louderne.....	1	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	24	8	4	3	.	.	.	.	43,0
Château-Lafite.....	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	10	14	3	1	.	3	.	31,1
Saint-Julien.....	2	0	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	7	8	0	.	.	.	1	.	18,2
Sainte-Hélène.....	0	5	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	4	4	1	.	.	.	.	18,8
Pierroton.....	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	7	15	.	.	.	0	.	27,9
Belin.....	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	18	.	1	.	.	.	.	22,2
Cavignac.....	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	14	4	4	1	6	.	.	.	30,3
Saint-André-de-Cubzac.....	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	8	5	2	0	.	2	.	.	19,3
Sallebeuf.....	2	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	6	10	2	.	.	.	.	.	22,0
Ploirac (Observatoire)...	1	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0	20	1	0	.	.	0	.	25,6
Bordeaux (D <sup>m</sup> des Eaux)	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	13	2	.	.	.	.	.	17,3
Talence.....	3	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	11	10	1	.	.	.	.	.	28,8
La Sauve.....	.	6	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	23	4	1	.	.	.	.	36,7
Château d'Yquem.....	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	13	13	.	.	.	0	.	.	27,0
Budos.....	2	1	.	.	.	.	.	.	1	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	17	2	.	.	.	.	.	27,3
Les Eglisottes.....	0	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	36	3	3	.	.	.	.	.	44,9
Lussac.....	11	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	26	5	.	.	.	.	.	.	42,4
Saint-Emilion.....	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	36	4	.	.	.	.	.	.	43,7
Sauveterre.....	1	0	.	.	.	.	.	.	.	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	12	.	.	.	1	.	.	.	44,2
Col-de-Fer.....	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	19	.	.	.	3	.	.	24,0
Lamothe-Landerron.....	1	0	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	15	11	.	.	2	.	.	30,9
Grignols.....	.	.	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	23	6	.	.	.	.	.	36,1
Captieux.....	4	.	.	.	.	.	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	20	5	.	.	.	.	.	.	30,8
Saint-Antoine-sur-l'Isle.....	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	7	9	2	0	.	.	.	.	18,0
Saint-Avit-du-Moiron...	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	26	13	.	.	.	4	.	.	43,4

# Commission Météorologique de la Gironde. — Pluies d'Août 1904.

STATIONS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Totaux mm
La Coubre.....	1	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	2	1	.	.	.	.	14	2	21,9	
Phare de Grave.....	2	.	.	.	2	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	2	.	.	.	1	4	1	.	.	.	.	6	1	20,3		
Saint-Nicolas.....	4	.	.	.	3	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	2	.	2	0	.	12	3	.	.	.	.	14	4	45,1		
Grand-Mont.....	7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4	.	3	6	3	2	3	.	.	.	.	23	7	55,4		
Phare d'Hourtin.....	12	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	8	.	11	4	2	.	.	.	.	20	9	70,0		
Moutchic.....	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	6	8	.	.	.	.	.	.	10	7	2	3	.	.	.	.	5	3	45,0			
Gressier.....	.	.	.	.	8	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	1	.	20	.	2	4	2	.	.	.	.	3	14	54,6		
Le Porge.....	.	.	.	.	8	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	2	.	2	7	1	2	1	.	.	.	.	16	6	47,3		
Arès.....	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4	.	0	.	1	3	.	3	.	.	.	2	3	16,0		
Piquey.....	6	.	.	.	2	.	.	1	.	.	0	.	.	.	.	.	4	.	.	.	1	4	3	.	.	.	.	5	.	25,2		
Arcachon.....	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	.	.	.	.	.	8	.	.	.	2	5	2	.	.	.	.	1	0	22,7		
Audenge.....	1	.	.	.	2	.	.	.	.	.	1	2	.	.	.	.	7	.	.	.	1	3	2	.	.	.	.	.	8	.	25,8	
Cazaux.....	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4	.	.	.	.	.	3	.	.	.	2	4	3	.	.	.	.	.	.	.	16,6	
La Salie.....	1	.	.	.	.	.	.	.	.	0	2	1	.	.	.	.	2	.	.	.	3	3	6	.	.	.	.	.	.	.	17,8	
Château-Loudeue.....	2	.	.	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	.	.	10	3	2	1	.	.	.	.	6	10	39,5		
Château-Lafite.....	.	.	.	.	12	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	2	1	2	3	1	.	.	.	.	2	12	35,5		
Saint-Julien.....	1	.	.	.	15	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	.	4	4	2	4	2	.	.	.	.	2	5	41,6		
Sainte-Hélène.....	.	.	.	.	8	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	3	.	6	2	3	.	3	.	.	.	.	2	5	34,0		
Pierroton.....	5	.	.	.	4	.	.	.	.	.	2	0	.	.	.	.	6	.	.	1	0	2	2	.	.	.	.	2	4	27,8		
Belin.....	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4	.	.	3	1	3	3	.	.	.	.	3	1	20,0		
Cavignac.....	.	.	.	.	8	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	3	.	3	10	.	.	.	.	.	.	.	.	3	6	33,9	
Saint-André-de-Cubzac.....	.	.	.	.	16	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	2	.	2	3	2	1	.	.	.	.	.	1	10	38,4		
Sallebeuf.....	.	.	.	.	7	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	3	.	3	2	.	0	.	.	.	.	.	.	7	.	23,5	
Floirac (Observatoire)...	1	.	.	.	19	.	.	0	.	.	1	.	.	.	.	.	3	.	4	1	1	1	.	.	.	.	.	1	3	34,0		
Bordeaux (D <sup>m</sup> des Eaux).....	3	.	.	.	9	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	5	.	1	2	1	1	.	.	.	.	.	.	6	.	28,4	
Talence.....	.	.	.	.	22	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	4	.	0	1	.	3	1	.	.	.	.	0	2	34,7		
La Sauve.....	.	.	.	.	.	.	.	.	0	.	1	.	.	.	.	.	4	.	6	5	.	3	2	.	.	.	.	.	2	.	22,5	
Château-d'Yquem.....	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	3	2	.	.	.	.	.	.	.	6,5	
Budos.....	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1	.	.	.	.	.	.	2	.	.	1	2	3	2	.	.	.	.	.	.	.	9,8	
Les Eglisottes.....	.	.	.	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4	.	7,5
Lussac.....	.	.	.	.	7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	.	.	3	.	.	.	.	.	.	.	3	.	.	16,1	
Saint-Emilion.....	0	.	.	.	4	.	.	.	.	.	3	.	.	.	.	.	2	.	8	.	0	.	0	.	.	.	.	1	6	25,6		
Sauveterre.....	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	1	.	.	2	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	7,3	
Col-de-Fer.....	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	2	.	.	.	.	.	.	.	0	6,0	
Lamothe-Landerron.....	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1	0	.	.	.	.	.	.	.	3,3	
Grignols.....	0	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0	.	.	.	1	2	4	.	.	.	.	.	1	9,4		
Capiteux.....	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	2	2	4	.	.	.	.	.	.	.	9,3	
Saint-Antoine-sur-l'Isle.....	0	.	.	.	6	.	.	.	.	.	2	1	.	.	.	.	3	.	.	2	2	0	0	.	.	.	.	.	3	19,7		
Saint-Avit-du-Moiron...	2	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	4	3	.	.	.	.	.	.	.	.	0	12,7	

# Commission Météorologique de la Gironde. — Pluies de Septembre 1904.

STATIONS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	Totaux mm		
La Coubre.....	.	.	.	0	2	.	9	.	.	0	.	2	8	4	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0	0	10	6	.	.	46,6		
Phare de Grave.....	.	.	.	.	.	.	5	.	.	.	.	1	1	1	10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	13	2	.	.	31,7		
Saint-Nicolas.....	0	.	.	.	.	.	6	.	.	.	.	0	1	.	6	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	.	10	5	.	.	30,6		
Grand-Mont.....	3	.	.	.	.	2	1	.	.	.	.	.	6	5	1	2	.	.	.	.	.	.	.	.	5	.	5	22	.	.	51,1		
Phare d'Hourtin.....	0	.	.	.	.	.	20	.	.	.	.	.	1	6	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	6	3	8	11	0	.	56,7		
Moutchic.....	2	3	.	.	.	.	0	.	.	.	0	1	.	3	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0	2	2	2	.	.	16,7		
Gressier.....	1	.	.	.	.	.	3	.	.	.	2	.	1	6	4	0	.	.	.	.	.	.	.	.	4	1	11	18	.	.	51,2		
Le Porge.....	2	.	.	.	.	.	2	.	.	.	2	.	.	3	8	2	.	.	.	.	.	.	.	.	5	.	7	14	.	.	43,6		
Arès.....	7	1	.	.	.	.	7	.	.	.	3	.	0	1	4	0	.	.	.	.	.	.	.	.	7	2	23	25	.	.	79,7		
Piquey.....	2	.	.	.	.	1	3	.	.	.	1	.	0	3	9	0	.	.	.	.	.	.	.	.	7	6	16	21	.	.	67,9		
Arcachon.....	4	.	.	.	.	.	4	.	.	.	0	.	.	5	16	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10	.	15	26	.	.	78,3		
Audenge.....	.	.	.	.	.	.	9	.	.	.	2	2	.	5	9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	5	2	9	20	.	.	63,4	
Cazaux.....	.	.	.	.	.	.	6	.	.	.	2	2	0	15	13	11	.	.	.	.	.	.	.	.	1	7	1	19	22	.	.	98,3	
La Salie.....	2	.	.	.	.	.	5	.	.	.	1	0	.	16	10	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	6	4	26	12	.	.	85,9	
Château-Louderne.....	.	.	.	.	.	.	7	.	.	.	.	.	.	7	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	.	5	2	.	.	28,7		
Château-Lafite.....	1	.	.	.	.	.	7	.	.	.	.	.	1	4	6	1	.	.	.	.	.	.	.	.	6	0	4	2	7	2	.	37,4	
Saint-Julien.....	.	.	.	.	.	3	1	.	.	.	.	.	.	3	7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4	3	5	10	.	.	36,3	
Sainte-Hélène.....	3	.	.	.	.	.	11	.	.	0	.	.	.	15	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	1	4	7	.	.	48,3	
Pierroton.....	1	.	.	.	.	.	5	.	.	.	2	3	.	3	4	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	3	9	18	.	.	51,5	
Bein.....	3	.	.	.	.	.	5	0	.	.	.	6	2	7	10	6	.	.	.	.	.	.	.	.	0	1	8	6	11	20	.	2	84,5
Cavignac.....	.	.	.	.	.	.	10	.	.	.	.	2	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	6	.	.	10	.	.	30,0	
Saint-André-de-Cubzac.	0	.	.	.	.	.	6	.	.	.	.	9	1	0	4	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	7	5	7	.	.	39,0	
Sallebeuf.....	1	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	4	.	3	5	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	8	.	.	15	1	.	39,2	
Floirac (Observatoire)...	2	.	.	.	.	.	3	.	.	.	2	0	0	3	3	0	.	.	.	.	.	.	.	.	2	7	2	2	12	0	0	38,3	
Bordeaux (D <sup>m</sup> des Eaux).	.	.	.	.	.	.	6	.	.	.	2	0	.	3	6	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	7	3	5	12	.	2	47,1	
Talence.....	3	.	.	.	.	.	3	.	.	.	.	3	.	1	4	3	.	.	.	.	.	.	.	.	1	5	2	3	7	.	.	33,9	
La Sauve.....	5	.	.	.	.	.	3	.	.	.	.	4	0	6	1	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	14	5	1	11	.	.	52,2	
Château-d'Yquem.....	2	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	2	1	4	14	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	6	4	3	8	0	.	46,6	
Budos.....	1	.	.	.	.	.	3	0	.	0	.	2	2	8	10	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	15	4	3	10	0	0	58,6	
Les Eglisottes.....	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	3	2	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	16	9	4	.	.	.	36,5	
Lussac.....	0	.	.	.	.	.	3	.	.	.	.	6	.	3	5	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	7	4	.	3	.	.	30,5	
Saint-Emilion.....	2	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	11	3	6	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	11	1	.	4	0	.	39,8	
Sauveterre.....	3	.	.	.	.	.	1	.	2	.	18	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4	11	2	9	6	.	59,2	
Col-de-Fer.....	.	.	.	.	.	.	6	.	.	.	.	2	3	6	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	7	.	4	4	0	.	36,2	
Lamothe-Landerron.....	0	.	.	.	.	.	7	.	.	.	.	4	2	5	5	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	12	1	3	5	4	.	47,8	
Gignols.....	.	.	.	.	.	.	10	.	.	.	.	3	13	7	5	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	11	.	.	11	.	.	60,2	
Captieux.....	0	.	.	.	.	.	12	.	.	.	.	2	2	5	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	28	1	.	11	.	0	66,3	
Saint-Antoine-sur-l'Isle..	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	4	0	3	6	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	8	3	0	1	.	1	29,4	
Saint-Avit-du-Moiron...	.	.	.	.	.	.	3	.	.	.	.	5	7	4	10	3	.	.	.	.	.	.	.	1	.	5	5	.	1	.	.	42,9	

# Commission Météorologique de la Gironde. — Pluies d'Octobre 1904.

STATIONS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Totaux mm
La Coubre.....	2	3	10	2				2	0	0														0								20,4
Phare de Grave.....	3	5	15	1				6	2														1									31,5
Saint-Nicolas.....	2	4	12	4				0	5	0													1									28,0
Grand-Mont.....	1	6	12	3				5	3							1																33,1
Phare d'Hourtin.....	4	5	11	1				5	5																							31,4
Moutchic.....							6	3	8	7													2									26,0
Gressier.....	4	5	12	1				4	1	8													1									34,6
Le Porge.....	2	3	5					6	5	1																						22,6
Arès.....	1	10	8	1			0	8	2	1													0									31,0
Piquey.....	3	8	9	2			0	4	7							1							0									33,9
Arcachon.....	4	6	6	1				5	3	3																						27,5
Audenge.....	2	5	6	1				5	4	5						1																28,5
Cazaux.....	3	7	5	3				4	9	2													0									33,5
La Salie.....	4	7		3			1	1																								16,0
Château-Louenne.....	2	2	4				3	4								1																15,6
Château-Lafite.....	2	4	3	2			1	1	5	2													1									20,6
Saint-Julien.....	4	5	5			1	1	8	1							5							0									28,6
Sainte-Hélène.....		4					0	6	5																							15,7
Pierroton.....	1	2	5	0				5	2	2						0																18,1
Belin.....	1	5	3	1				3	9	0													1									25,0
Cavignac.....	2	6	6					6															2									21,2
Saint-André-de-Cubzac.....		6	3	0				4	2	0						0							1									17,0
Sallebeuf.....	0		5	0				2	6							0							7									21,9
Moirac (Observatoire)...	2	4	2	1	0			8	1	0						0	0	0					0	3	0							20,9
Bordeaux (Don des Eaux).....	1	3						8															2									15,1
Talence.....	2	2	4					5	2														1									14,9
La Sauve.....	1	3	1				0	2	2														3									11,6
Château-d'Yquem.....		6	3	1	0				8														5									22,9
Budos.....	1	6	2	0				1	5	1													3			0						20,6
Les Eglisottes.....			12				11		6							2							1									32,1
Lussac.....	2	7						3	2														1									15,7
Saint-Emilion.....	11		5			0		7								2							2									26,2
Sauveterre.....		2	4	4				6	3														3									21,6
Col-de-Fer.....	4	3	2	0	0	0	4	2								0	0						0	1								16,2
Lamothe-Landerron.....		6		0	0			1	4														1									12,4
Grignols.....		6	2					5	6														1			0						20,3
Capitieux.....			9					3	14														4									30,3
Saint-Antoine-sur-l'Isle.....	1	10	3	0				3	5														2									24,7
Saint-Avit-du-Moiron.....		3						1	7														1									11,9

# Commission Météorologique de la Gironde. — Pluies de Novembre 1904.

STATIONS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	Totaux mm
La Coubre.....								0	0	2	0	0									8	0	23		9	19					62,2
Phare de Grave.....								2		3	1										12		11	3	30	3					64,7
Saint-Nicolas.....								6	3	1	1		1								7	4	21	10	7	12					72,7
Grand-Mont.....								9	2	1											9	4	0	21	6	10	12				74,1
Phare d'Hourtin.....								3	1	3	1										2	7	29	7	8	16					77,0
Moutchic.....										5	7										5	10	15	4	12	12					70,9
Gressier.....						0		4		2	0										0	8	8	16	6	13	16				74,0
Le Porge.....								7	3	2	1	1									3	10	8	3	13	8					58,6
Arès.....						0	6	2	7	4											7		22	1	7	6					62,4
Piquey.....								1	3	3	3		0	0	0	0	0	0	0	0	5	12	7	3	10	24					71,9
Arcachon.....								1	1	1	4										9	17	16	3	16	10					78,7
Audenge.....								6	4	3	7										5	17	6	4	13	21					84,2
Cazaux.....								5	4	2	6										7		18	16	5	9	4				75,9
La Salie.....								3	3	1	4	3									3	13	19	12	9	9					79,6
Château-Louenne.....								10	2	4	1										8	6	5	7	9	20					70,4
Château-Lafite.....								3	0	3	1										8	7	7	5	7	2					44,9
Saint-Julien.....								4	2	2	8										15	2	10	4	14	17					78,1
Sainte-Hélène.....								3	2	3	4				0						1	8	2	9	5	10	4				54,1
Pierroton.....								2	2	3	6	0									4	12	1	2	3	17					53,2
Belin.....								1	5	2	2	3	1								3	12	7	0	9	21					60,1
Cavignac.....					0		2	2		1	6										4	9	8		8	8	19				66,7
Saint-André-de-Cubzac.						4		5		1	3	0									9	8			13	21					63,7
Sallebœuf.....								7	0	1	2	1									5	10	2	4	8	25					68,1
Floirac (Observatoire)...	0	0	0					3	1	2	3	0	0			0	0	0	0	0	6	9	2	3	8	16					53,9
Bordeaux (D <sup>m</sup> des Eaux).							3		0	2	3										7	10	2	4	9	12					50,7
Talence.....								7	1	2	5	0								3	4	13	2	3	16						51,3
La Sauve.....								5		2	4	3									2	9	1	14	6	16					66,0
Château-d'Yquem.....								6		3	2	2				6					3	6	2	2	2	6	1				43,1
Budos.....								10		2	2	1	0	0							2	14	1	3	4	24					62,7
Les Eglisottes.....								5	0		4										2	5	6		8	13					44,0
Lussac.....								3			6	2									2			9	12	8					41,7
Saint-Emilion.....									5	0	7	2									0	3	6	2	8	10	16				56,5
Sauveterre.....								4	0	2	5	3									5	10	1	5	7	16					57,4
Col-de-Fer.....	0	0	0					1	4	1	1	1		0	0	0	0	0	0	0	5	6	1	3	5	20					47,2
Lamothe-Landerron.....								4	0	1	1				0						2	10	1	2	5	23					48,3
Grignols.....								5		2	2										2	13	2	2	5	25					58,1
Captieux.....								3	1	2	2										5	11	4	4	2	20					53,9
Saint-Antoine-sur-Isle.							0	10	0	1	3	1			0	0	0	0	0	0	3	12	0	15	3	16	0	0			64,1
Saint-Avit-du-Moiron...								2			7	1									1	8	2	12	6	14					53,3

# Commission Météorologique de la Gironde. — Pluies de Décembre 1904.

STATIONS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Totaux mm		
La Coubre.....		2				6	8	4	4	19	3	5	4	2	9	3	0								1								69,6	
Phare de Grave.....						5	6	10	3	31	2	3	8	2	13	9																	100,7	
Saint-Nicolas.....		1		0		4	8	14	1	37	8	8	10	2	13	14		1		0													121,9	
Grand-Mont.....						5	21	7	41	14	10	6	2	8	13	1	0	0	0				0		0								132,4	
Phare d'Hourtin.....						7	3	21	3	28	16	9	8	3	10	8	0																118,0	
Mouthic.....						1	20	17	15	10	8	6	5	8	9	1	1	0	0	0													103,3	
Gressier.....			2	2	4	2	19	4	10	7	11	9	1	7	8												2	2					94,9	
Le Porge.....						4	0	32	2	11	12	11	6	2	8	10	1																102,2	
Arès.....					0	2	2	26	5	15	13	9	6	2	7	14	1														2	1	104,5	
Piquey.....			4	1	1	5	3	26	4	12	8	7	7	2	8	7	0		0	0		0	0			1							101,8	
Arcachon.....			5	1	1	4	1	27	4	12	6	7	11	3	8	6	0										1						97,4	
Audenge.....						3	8	1	25	5	11	16	10	13	2	5	13																116,8	
Cazaux.....			9		2	3	2	25	4	6	13	6	12	3	12	8											1						107,7	
La Salie.....			2			2	4	25	4	5	12	5	8	4	8	6																	87,8	
Château-Loudenne.....						3	1	24	7	16	2	5	6	2	13	7	0																86,6	
Château-Lafite.....					1	3	2	30	4	25	0	7	15	7	14	10	1				1	0					1						121,0	
Saint-Julien.....					1	4	2	24	20	9	10	8	20	8	20	11	1			1													138,7	
Sainte-Hélène.....						9	4	22	3	8	18	9	13	2	13	10	3		0	0	0												117,2	
Pierroton.....						3	0	21	4	10	29	8	8	4	6	9	0		0	0	0												104,8	
Belin.....			1	0	0		2	23	3	5	15	4	8	2	11	11	1		0				0	0									89,4	
Cavignac.....						4	1	17	2	5	5	10	9	2	15	13	1																89,1	
Saint-André-de-Cubzac.....						4	0	20	3	8	8	12	13	2	15	11	1	0		0	0	0											97,0	
Sallebeuf.....						1	1	10	5	2	11	0	12	2	18	5	3										1							72,9
Floirac (Observatoire)...			1	0	3	1	16	2	6	4	10	7	2	10	4	1	0	0	0	0					0	0		0						69,1
Bordeaux (D <sup>m</sup> des Eaux).....				0		4	0	23	2	7	6	13	7	3	11	5	1	0	0															81,2
Talence.....						3		18	3	6	9	11	12	2	9	6	0		0															81,1
La Sauve.....						2		13	3	3	4	9	11	1	11	5	0										1							63,0
Château-d'Yquem.....					1	2	0	22	2	6	10	6	7	2	6	6																		72,0
Budos.....				0		1	2	22	5	8	19	6	13	2	10	6	1	0	0	0							1	1	0					96,2
Les Eglisottes.....						1	5	1	6	10	6	10	1	10	6	18	5	1	0	0	0	0						0	1					83,5
Lussac.....								14	10	5	8	6	13	1	19	7	1		1	0	3													87,1
Saint-Emilion.....				0		4		6	6	2	3	2	8	10	2	15	1			0	0													59,8
Sauveterre.....						1	5	1	12	5	13	4	6	12	2	7	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	75,9
Col-de-Fer.....						1	3	2	16	5	2	4	9	10	6	5	3		0	0		0	0											64,7
Lamothe-Landerron.....						1	2	0	20	4	3	3	9	7	2	11	6	0		0	0	0			0	0	1	1						71,0
Grignols.....						2	3		20	5	3	10	5	12	3	6	7	2									4							84,7
Captieux.....								10		13	6	8	12	5	16	1	12	7	0							0	0							92,7
Saint-Antoine-sur-l'Isle.....								6	0	16	3	5	3	8	9	1	18	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					76,5
Saint-Avit-du-Moiron...								3		11	5	4	3	7	14	0	19	5	1		0	0	0					1						73,9

# Commission Météorologique de la Gironde. — Pluies de Janvier 1905.

STATIONS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Totaux mm
La Coubre.....				2	2	6	4									5	38	7														64,6
Phare de Grave.....						2	8	6		1						3	36	10														66,1
Saint-Nicolas.....				2	2	6	4	0								4	32	8														57,9
Grand-Mont.....						1	12	2								5	37	8							3							67,7
Phare d'Hourtin.....				0	1	4	4		0							5	34	7							0							55,8
Moutchic.....						0	6									9	36	15	0					0	0	0						68,4
Gressier.....	1			1	0	5	5	1								7	34	4						1								60,5
Le Porge.....						1	7	6	1							7	30	4							0							55,4
Arès.....	1						5	3								3	31	3							0							45,8
Piquey.....				2			7	4		3						8	33	5	0			0	0	1								63,1
Arcachon.....				3			9	6		3						9	30	4							1							64,1
Audenge.....				2			9	6		2						10	24	4							2							62,9
Cazaux.....		1				13	8	1								7	34	5														67,3
La Salie.....						3	8	4	1	2						5	32	5	1						1							61,7
Château-Louderne.....			2	1	10	2										3	27	6						1								50,5
Château-Lafite.....						6	7	0		1						4	31	8						1								59,4
Saint-Julien.....						0	8	4		2						6	26	12	1					1								59,9
Sainte-Hélène.....				0		4	5	0								3	26	7							1	0						45,5
Pierroton.....	1						7	6	1							3	17	4							1							38,2
Belin.....							9	6	0	2						9	26	4							1	1				0	0	56,7
Cavignac.....							7	8	0	0						4	29	10									0					57,4
Saint-André-de-Cubzac.....			1	0	9	9		2								3	26	6							1						0	57,5
Sallebeuf.....	1					3	9	4		1						12	20	2							1							52,5
Floirac (Observatoire)...					0	5	5	0	2		0					4	23	5	0	0					1				0	0		46,0
Bordeaux (D <sup>ne</sup> des Eaux).....						5	5	1								5	29	6											0	0		51,5
Talence.....				0		5	7		2							3	27	4							2							50,2
La Sauve.....						5	11		6							4	30	3														59,4
Château-l'Yquem.....						5		1	2							6	24	7														44,6
Budos.....			1			4	8	2	1							7	27	9							1							59,8
Les Eglisottes.....					0	6	6		0							4	29	8							3							56,1
Lussac.....				1		5	6									4	28	6							1							49,1
Saint-Emilion.....				1		7	6		1							4	24	4							1							47,6
Sauveterre.....					1	6	6	0	1	0						4	32	4	0	0	0	0			0					0		53,9
Col-de-Fer.....				0		4	6		1	0			0			5	16	4													0	36,1
Lamothe-Landerron.....	0					3	1	1	1							5	18	11														40,1
Grignols.....						4	10	3	2							7	24	2							0							51,7
Capitieux.....				0	1	2	8		2							8	20	10													1	52,0
Saint-Antoine-sur-l'Isle.....		1	0	0	6	6	0	0	0		0					3	33	8	0			0			2				0	0		60,4
Saint-Avit-du-Moiron.....					1	6	5		1							5	26	5														47,7



# Commission Météorologique de la Gironde. — Pluies de Février 1905.

STATIONS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	Totaux mm
La Coubre.....	1	1	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	2	2	0	.	1	0	.	10	5	26,0	
Phare de Grave.....	1	1	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	3	3	.	1	.	.	.	9	7	29,1	
Saint-Nicolas.....	1	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4	5	1	.	2	.	.	.	7	6	27,8	
Grand-Mont.....	1	.	.	3	.	.	.	.	0	0	.	.	.	.	.	.	.	4	6	.	.	3	.	.	.	6	7	31,0	
Phare d'Hourtin.....	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	5	5	.	.	1	.	.	.	13	8	36,1	
Moutchic.....	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0	0	1	.	.	.	.	.	3	2	5	9	22,6	
Gressier.....	0	0	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	4	7	6	.	0	.	.	.	8	7	34,8	
Le Porge.....	1	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	5	5	.	1	.	.	.	15	7	38,7	
Arès.....	.	.	13	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0	.	1	4	4	.	6	1	.	.	.	9	7	43,1	
Piquey.....	0	.	2	.	.	.	.	.	0	.	.	.	.	.	0	0	.	2	5	7	0	.	0	0	.	2	13	39,8	
Areachon.....	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	4	13	0	.	.	.	.	13	10	41,6	
Audenge.....	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	3	9	0	.	.	.	.	15	9	39,8	
Cazaux.....	1	.	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0	.	.	2	4	8	.	1	.	.	1	11	19	50,5	
La Salie.....	1	.	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0	3	4	9	1	.	1	.	.	1	10	13	46,2	
Château-Loudenne.....	1	2	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	(1)	26,1
Château-Lafite.....	.	2	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1	0	2	4	3	.	0	1	.	.	.	6	3	34,7
Saint-Julien.....	.	4	0	0	.	.	.	.	4	.	.	.	.	.	2	.	.	2	2	4	.	.	.	.	.	.	12	5	40,7
Sainte-Hélène.....	.	3	0	.	.	.	.	.	0	.	.	.	.	.	.	1	0	1	4	6	1	.	2	.	.	.	12	11	21,5
Pierroton.....	.	.	1	.	.	.	.	.	0	.	.	.	.	.	0	.	.	2	3	4	0	0	2	.	.	.	6	4	40,9
Belin.....	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	2	6	9	1	.	1	.	.	.	9	11	14,8
Cavignac.....	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0	6	3	.	0	.	.	.	.	4	0	24,2
Saint-André-de-Cubzac.....	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0	5	.	3	.	2	.	.	.	.	.	7	4	38,0
Sallebeuf.....	.	2	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	1	5	5	.	2	.	.	.	.	14	7	33,4
Floirac (Observatoire) ..	0	0	1	.	.	.	0	0	.	0	0	.	.	0	1	0	1	1	4	5	0	.	2	.	0	11	6	36,3	
Bordeaux (D <sup>es</sup> des Eaux) ..	1	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0	0	.	2	3	5	.	2	.	.	.	.	14	7	34,5
Talence.....	0	0	0	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	1	1	10	0	.	2	.	.	.	.	.	11	8	36,8
La Sauve.....	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	6	5	6	.	5	.	.	.	.	.	.	10	5	20,2
Château-d'Yquem.....	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	2	3	.	1	.	.	.	.	8	3	28,1
Budos.....	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	2	3	6	.	2	.	.	.	.	9	5	20,8
Les Eglisottes.....	0	1	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	2	6	1	0	.	1	.	.	.	4	1	10,3
Lussac.....	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1	1	.	2	.	.	.	.	3	0	23,6
Saint-Emilion.....	.	.	1	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	8	.	.	2	.	.	1	5	5	26,8	
Sauveterre.....	1	.	.	.	.	0	0	.	.	.	.	.	.	.	1	.	4	4	3	.	4	0	.	.	.	.	6	6	24,0
Col-de-Fer.....	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	2	4	3	1	.	4	.	.	.	6	4	22,9
Lamothe-Landerron.....	1	.	1	.	.	.	.	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	3	4	.	2	.	.	.	.	6	3	26,0
Grignols.....	1	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0	.	.	3	3	5	0	.	2	.	.	.	8	4	36,3
Captieux.....	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0	0	.	3	4	9	0	0	.	2	.	.	9	10	23,7
Saint-Antoine-sur-l'Isle..	0	1	4	0	.	0	0	.	0	.	.	.	.	.	0	0	.	2	5	2	1	.	2	.	0	.	5	2	19,2
Saint-Avit-du-Moiron...	1	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	5	2	.	1	.	.	.	.	5	2	

# Commission Météorologique de la Gironde. — Pluies de Mars 1905.

STATIONS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Totaux mm
La Coubre.....	2	6	.	.	.	2	1	0	.	2	.	6	0	4	.	9	7	11	.	.	1	4	1	2	.	3	.	1	.	.	.	61,9
Phare de Grave.....	7	4	.	.	.	2	2	1	.	1	.	9	2	10	.	8	5	21	.	.	1	5	1	3	.	3	.	1	.	.	.	85,5
Saint-Nicolas.....	6	5	.	.	.	1	1	0	.	2	.	3	1	7	1	8	7	23	.	.	1	20	4	2	.	2	1	1	.	.	.	95,1
Grand-Mont.....	4	8	.	.	2	1	.	4	.	.	5	5	1	7	.	6	10	15	7	.	2	13	.	.	.	3	.	.	.	.	.	92,7
Phare d'Hourtin.....	1	6	.	.	.	1	2	1	.	1	.	2	0	8	0	5	0	25	1	.	.	17	5	2	.	2	0	1	.	.	.	81,8
Moutchic.....	10	7	4	.	1	1	0	.	.	0	0	0	9	0	4	.	21	3	.	.	1	7	0	1	0	0	.	.	.	.	.	71,9
Gressier.....	5	18	.	.	.	2	1	1	.	2	.	3	3	8	2	9	0	23	0	.	1	5	1	1	1	2	1	1	.	.	.	88,4
Le Porge.....	4	12	.	.	.	2	1	1	.	2	.	4	2	10	3	12	1	18	3	.	2	6	5	1	.	1	.	2	.	.	.	88,6
Arès.....	4	11	.	.	.	1	2	1	.	0	.	1	3	3	.	8	0	17	1	.	3	17	9	2	1	1	.	1	.	.	.	86,2
Piquev.....	8	7	1	.	.	1	3	2	.	0	.	3	3	6	0	15	2	20	1	.	2	10	3	1	.	2	1	.	.	.	1	91,2
Arcachon.....	7	10	.	.	.	1	2	1	.	.	.	4	6	7	.	17	1	14	0	.	3	11	4	2	.	3	0	1	.	.	.	94,6
Audenge.....	5	7	.	.	.	4	2	.	2	.	4	9	7	1	20	1	15	2	.	2	12	4	2	.	3	1	2	.	.	.	.	104,3
Cazaux.....	12	8	.	.	.	2	1	1	.	3	.	3	6	5	1	20	1	9	4	.	1	18	10	.	.	2	2	1	.	.	.	108,8
La Salie.....	9	11	.	.	.	1	5	.	.	7	.	4	6	6	1	19	2	10	1	.	3	14	11	1	1	1	0	2	.	.	.	113,1
Château-Louderne.....	.	.	.	.	.	1	1	.	.	4	.	3	4	5	.	4	5	12	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1	.	.	.	(1)
Château-Lafite.....	2	4	.	.	.	2	2	2	.	0	.	3	3	8	1	8	1	21	.	.	.	8	6	3	1	.	1	2	.	.	.	77,5
Saint-Julien.....	1	4	.	.	.	2	.	.	.	4	.	4	1	.	20	8	1	25	2	.	.	14	3	.	.	.	.	.	.	.	.	89,6
Sainte-Hélène.....	2	10	.	.	.	2	.	5	.	1	.	5	3	5	1	13	1	23	2	.	2	6	15	1	1	2	1	2	.	.	.	102,5
Pierroton.....	3	5	0	.	.	1	1	2	.	2	.	3	4	4	1	10	1	12	2	.	1	8	6	4	.	1	.	2	.	.	.	71,7
Belin.....	9	5	.	.	.	2	3	3	.	7	.	3	8	8	2	19	1	8	1	.	0	12	16	1	.	2	0	.	.	.	.	109,6
Cavignac.....	0	2	.	.	.	1	1	1	.	1	.	1	5	4	12	10	1	3	.	.	1	3	4	5	2	1	.	1	.	.	.	59,5
Saint-André-de-Cubzac.....	3	6	2	.	.	2	1	2	.	3	.	4	6	7	10	15	2	4	.	.	3	4	4	.	.	2	0	1	.	.	.	83,0
Saliebecf.....	4	1	.	.	.	2	3	3	.	2	.	6	7	9	7	12	1	12	.	.	4	18	2	0	1	1	.	1	.	.	.	94,9
Floirac (Observatoire).....	4	2	.	0	2	2	2	0	1	2	3	8	8	1	12	1	13	0	.	1	14	21	1	1	1	0	2	.	.	.	100,0	
Bordeaux (D <sup>ne</sup> des Eaux).....	3	2	.	.	.	2	2	2	.	1	1	4	6	9	16	1	15	4	.	0	.	15	13	0	.	2	.	1	.	.	.	96,7
Talence.....	2	2	.	.	.	.	3	3	2	0	3	.	9	9	2	15	2	13	4	.	0	16	2	0	.	1	2	.	.	.	.	97,6
La Sauve.....	5	.	.	.	1	.	2	3	.	2	3	3	6	4	4	5	9	10	.	7	4	8	.	.	.	.	3	.	.	.	.	79,3
Château-d'Yquem.....	2	2	.	.	.	0	1	.	0	.	3	6	7	2	18	2	5	0	.	.	4	5	1	.	0	.	2	.	.	.	.	60,6
Budos.....	2	3	.	.	.	1	3	2	.	1	.	4	7	8	1	21	4	6	1	.	1	5	10	1	1	1	.	2	.	.	0	83,6
Les Eglisottes.....	1	3	1	.	.	.	3	1	.	2	0	3	3	6	1	15	4	16	1	.	1	4	13	1	0	2	.	2	.	.	.	82,1
Lussac.....	1	5	.	.	.	1	1	1	.	2	1	2	3	5	1	5	3	5	2	.	2	5	4	1	.	2	.	1	.	.	.	51,4
Saint-Emilion.....	4	2	.	.	.	1	2	2	.	2	1	2	6	8	2	11	3	10	3	.	.	6	7	1	.	1	.	1	.	.	.	76,3
Sauveterre.....	4	4	1	.	.	.	2	2	.	.	.	5	3	5	1	6	1	6	2	.	.	5	5	1	1	.	.	.	.	.	.	51,2
Col-de-Fer.....	5	4	.	.	.	.	3	.	.	1	.	5	.	5	1	11	1	8	1	.	.	2	5	2	.	1	.	.	.	.	0	53,2
Lamothe-Landerron.....	1	9	1	.	.	0	1	3	.	1	.	2	5	5	3	19	1	6	1	.	1	2	1	5	.	1	.	2	.	.	0	68,3
Grignols.....	5	3	0	.	.	0	1	3	.	2	.	0	7	6	2	19	2	7	1	.	0	5	2	0	1	1	.	3	.	.	0	71,2
Capitieux.....	.	8	0	.	.	1	2	2	.	2	.	4	5	6	7	16	2	6	.	.	.	4	.	1	.	.	.	.	.	.	.	63,9
Saint-Antoine-sur-l'Isle.....	1	8	2	.	.	1	2	1	.	2	.	2	5	9	2	11	5	13	2	.	0	5	6	2	0	2	.	1	.	.	.	80,1
Saint-Avit-du-Moiron.....	1	2	1	.	.	0	1	2	.	4	.	5	6	4	5	12	2	9	7	.	1	3	8	3	.	1	1	.	.	.	.	77,0

(1) Lacunes.

# Commission Météorologique de la Gironde. — Pluies d'Avril 1905.

STATIONS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	Total mm
La Coubre.....	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0	0	1	1	4	.	2	.	.	.	4	31	.	.	.	.	.	.	.	.	11	54,0
Phare de Grave.....	.	.	.	.	0	.	.	.	1	3	10	3	5	.	1	2	.	.	11	21	.	.	.	.	.	.	.	.	.	19	73,5
Saint-Nicolas.....	.	.	.	.	.	.	.	.	0	1	8	3	4	.	2	2	.	.	7	26	.	.	1	.	.	.	.	.	.	11	64,4
Grand-Mont.....	.	.	.	.	.	.	.	.	.	8	3	5	.	2	2	.	.	.	1	27	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	52,3
Phare d'Hourtin.....	.	.	1	1	.	.	.	.	0	0	6	2	5	.	.	9	.	.	0	27	.	.	.	.	.	.	.	.	.	6	57,1
Moutchic.....	.	.	.	.	0	.	.	.	2	.	6	.	6	.	.	11	.	.	22	1	.	.	.	.	.	.	.	2	3	52,9	
Gressier.....	.	.	0	.	1	.	.	.	.	3	2	6	0	2	5	1	.	1	27	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4	51,1
Le Porge.....	.	.	0	.	0	.	.	.	.	4	1	5	1	2	8	.	.	19	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	42,3
Arès.....	.	.	.	.	.	.	.	.	.	10	1	6	0	2	6	3	2	2	14	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	49,3
Piquey.....	.	.	1	.	0	.	.	.	.	8	2	3	0	1	5	1	1	11	16	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	52,3
Arcachon.....	.	.	1	.	.	.	.	.	.	6	2	2	3	4	3	5	.	17	17	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	61,1
Audenge.....	.	.	1	.	.	.	.	.	.	10	1	1	.	6	3	2	.	1	10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	37,9
Cazaux.....	.	.	1	.	.	.	.	.	.	1	7	1	2	.	2	6	5	1	.	25	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	53,7
La Salle.....	.	.	.	.	.	.	.	.	.	8	.	1	4	1	13	6	2	2	28	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	57,3
Château-Louenne.....	.	.	.	1	.	.	.	.	.	1	6	4	4	.	1	2	.	10	6	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4	39,1
Château-Lafite.....	.	.	.	0	.	.	.	.	.	0	6	5	1	4	2	2	1	.	6	9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	7	41,6
Saint-Julien.....	.	.	.	.	.	.	.	.	2	7	5	5	1	0	.	.	8	.	8	.	.	.	.	.	1	6	0	1	1	1	46,4
Sainte-Hélène.....	.	.	2	.	1	.	.	.	.	5	3	3	2	1	1	.	.	2	16	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	40,2
Pierroton.....	.	.	0	.	1	.	.	.	.	2	5	2	1	1	2	2	7	.	3	11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	40,1
Belin.....	.	.	2	.	1	.	.	.	.	1	11	2	1	4	3	7	1	1	2	10	1	.	.	.	.	.	.	.	.	3	49,8
Cavignac.....	.	.	.	.	.	.	.	.	.	17	9	4	2	.	9	.	8	.	3	17	.	.	.	.	.	.	.	.	.	6	75,2
Saint-André-de-Cubzac.....	.	.	.	2	.	.	.	.	0	12	11	4	1	4	5	.	5	.	3	14	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	62,4
Sallebrauf.....	.	.	2	.	1	.	.	.	2	8	12	4	1	1	9	4	0	0	11	8	.	.	.	.	.	.	.	.	1	0	64,9
Floirac (Observatoire)...	0	.	0	2	0	0	0	.	0	4	8	4	1	1	3	5	0	0	23	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	52,4
Bordeaux (D <sup>m</sup> des Eaux).....	.	.	2	.	1	.	.	.	.	2	5	4	1	1	4	7	1	.	22	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	18,9
Talence.....	.	.	0	.	0	.	.	.	.	15	7	2	1	.	7	0	.	26	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	59,2
La Sauve.....	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	7	3	5	3	4	5	5	3	1	16	0	.	.	.	.	.	.	.	.	2	56,4
Château-d'Yquem.....	.	.	.	.	.	.	.	.	.	22	8	3	.	.	1	0	4	.	0	8	1	.	.	.	.	.	.	.	.	0	47,0
Budos.....	.	.	1	.	1	.	.	.	.	9	8	3	1	1	2	1	4	1	1	9	2	.	.	.	.	.	.	.	.	1	44,7
Les Eglisottes.....	.	.	1	.	.	.	.	.	.	13	15	5	5	2	6	1	.	15	8	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4	77,6
Lussac.....	.	.	1	.	.	.	.	.	.	8	13	4	2	2	2	5	1	.	8	6	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	51,1
Saint-Emilion.....	.	.	1	.	1	.	.	.	.	18	13	6	4	.	4	3	7	.	5	8	2	.	.	.	.	.	.	.	.	3	74,1
Sauveterre.....	.	.	2	.	1	.	.	.	11	12	12	6	1	8	2	2	0	.	9	6	1	.	.	.	.	.	.	.	.	1	72,4
Col-de-Fer.....	.	.	0	0	.	1	.	.	.	8	12	4	2	5	3	2	1	.	5	6	1	.	0	.	.	.	.	.	.	.	18,5
Lamothe-Landerron.....	.	.	2	.	1	.	.	.	.	9	12	3	0	7	5	5	.	8	5	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0	58,5
Grignols.....	0	.	0	2	.	2	.	.	.	0	12	6	4	2	7	4	5	10	2	4	10	2	.	.	.	.	.	.	.	.	70,8
Captieux.....	.	.	3	2	.	1	.	.	.	7	6	4	4	4	3	3	1	5	4	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	59,9
Saint-Antoine-sur-l'Isle.....	.	.	0	.	1	.	.	.	.	1	23	13	1	14	5	6	4	.	16	10	0	.	.	.	.	.	.	.	.	3	96,0
Saint-Avit-du-Moiron.....	.	.	1	.	0	.	.	.	.	.	6	16	3	5	2	9	2	.	22	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	68,2

Commission Météorologique de la Gironde. — Pluies de Mai 1905.

STATIONS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Totaux mm
La Coubre.....	.	3	2	5	1	1	4	24	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	39,1
Phare de Grave.....	.	11	.	5	5	.	12	15	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	47,9
Saint-Nicolas.....	.	8	5	8	2	1	6	14	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	43,9
Grand-Mont.....	.	12	.	3	3	0	0	13	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	33,4
Phare d'Hourtin.....	.	11	1	.	1	4	7	12	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	36,2
Moutchic.....	.	16	.	3	.	1	3	4	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	4	.	.	.	.	.	.	.	.	32,1
Gressier.....	1	16	0	1	8	1	6	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	41,0
Le Porge.....	.	16	0	2	1	.	4	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	39,2
Arès.....	.	17	0	2	1	6	3	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	1	2	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	38,9
Piquey.....	.	17	1	2	3	1	5	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	1	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	34,9
Arcachon.....	.	2	.	2	.	1	5	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	17,5
Audenge.....	.	12	1	2	5	5	8	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	42,1
Cazaux.....	.	12	1	3	.	2	6	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	23,7
La Salie.....	.	14	.	6	5	2	8	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	.	.	6	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	47,0
Château-Londenne.....	.	11	5	3	.	.	10	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	31,8
Château-Lafite.....	.	15	1	2	0	1	14	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	40,1
Saint-Julien.....	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Sainte-Hélène.....	.	11	4	5	1	3	6	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0	.	0	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	33,3
Pierroton.....	.	8	2	3	3	4	11	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4	.	2	0	.	.	.	.	.	.	.	1	.	36,9
Bein.....	.	6	1	4	0	2	19	0	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	6	.	1	2	.	.	.	.	.	.	1	.	44,8
Cavignac.....	.	10	2	3	.	5	15	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	39,3
Saint-André-de-Cubzac.	.	7	2	2	0	3	15	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	2	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	35,2
Sallebeuf.....	1	11	.	2	1	15	10	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4	.	.	7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	53,4
Floirac (Observatoire)..	.	7	2	2	1	6	15	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	2	.	2	2	.	.	.	.	.	.	.	.	40,3
Bordeaux (D <sup>ne</sup> des Eaux).	.	9	3	3	0	5	12	1	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	1	.	2	1	.	.	.	.	.	.	.	.	40,2
Talence.....	.	9	3	2	1	6	7	1	2	.	.	.	.	.	0	.	.	.	5	.	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	39,0
La Sauve.....	.	10	3	2	1	9	25	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	60,9
Château-d'Yquem.....	.	5	.	5	.	18	25	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	58,0
Budos.....	.	6	2	3	.	19	25	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	0	.	2	0	.	.	.	.	.	.	1	.	61,6
Les Eglisottes.....	0	7	3	1	.	3	17	0	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	34,1
Lussac.....	.	5	1	2	.	6	16	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	33,0
Saint-Emilion.....	2	5	3	0	8	.	18	0	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	47,8
Sauveterre.....	.	6	3	2	0	2	15	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	2	.	3	1	.	.	.	.	.	.	.	.	34,5
Col-de-Fer.....	.	6	1	1	.	23	10	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	.	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	48,5
Lamothe-Landerron.....	.	7	1	2	.	19	25	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	3	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	60,5
Grignols.....	.	8	.	1	1	30	28	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	18	.	2	0	.	.	.	.	.	.	.	.	93,5
Captieux.....	.	10	.	.	.	29	30	10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4	4	.	7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	92,3
Saint-Antoine-sur-l'Isle.	2	6	1	1	0	8	16	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	1	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	42,7
Saint-Avit-du-Moiron..	1	6	1	2	.	10	31	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	4	.	0	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	62,7

COMMISSION MÉTÉOROLOGIQUE DE LA GIRONDE

Observations thermométriques du Phare de Grave.

Dates	Juin 1904		Juillet 1904		Août 1904		Septembre 1904		Octobre 1904		Novemb.
	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima
1	13,0	16,8	12,2	21,2	16,2	27,0	14,5	21,1	13,3	19,0	4,5
2	12,6	18,3	12,4	21,5	18,3	30,2	13,7	22,4	14,4	20,0	6,5
3	12,2	18,8	13,0	26,3	18,0	34,2	11,3	22,2	12,5	18,3	6,1
4	11,2	21,5	15,2	28,8	21,1	26,9	14,4	23,3	13,8	24,4	4,6
5	13,0	21,8	15,4	24,5	19,1	24,4	14,0	27,3	10,0	19,5	8,4
6	12,7	25,5	14,0	30,6	14,5	26,8	16,7	20,6	15,9	19,9	11,2
7	15,5	23,2	14,2	33,4	16,9	25,8	11,1	21,6	15,8	17,1	6,0
8	14,9	19,8	17,5	34,7	18,3	25,3	10,8	22,0	11,0	15,6	11,0
9	15,4	19,8	17,9	30,2	18,4	24,8	10,1	22,2	8,6	15,0	11,1
10	14,0	21,7	19,5	28,3	17,1	27,7	13,6	22,9	8,8	17,0	13,3
11	15,2	15,5	18,2	24,4	17,2	24,5	14,1	27,0	6,6	16,0	13,5
12	15,6	19,1	17,4	24,4	15,1	23,4	17,0	23,9	6,1	17,5	13,8
13	14,9	20,8	14,0	24,8	16,4	29,6	15,1	19,9	7,5	18,4	9,7
14	13,3	21,3	16,2	32,3	16,8	25,5	12,3	21,9	9,2	19,9	5,9
15	15,1	22,8	17,3	26,5	16,8	25,5	14,7	21,0	9,0	18,6	6,9
16	13,8	25,8	18,2	27,0	13,3	24,9	13,6	23,9	12,5	17,9	3,6
17	17,2	24,3	18,0	36,8	16,6	26,0	13,7	27,2	8,5	19,5	7,8
18	15,2	19,8	19,6	30,4	15,2	22,5	12,6	26,0	8,6	19,5	2,8
19	12,9	25,7	20,6	28,6	13,4	23,9	14,2	25,8	14,5	23,6	1,5
20	13,5	26,8	19,0	25,2	13,6	27,5	12,1	26,0	13,1	21,9	2,9
21	15,0	22,8	11,2	27,4	17,2	21,4	8,1	20,6	12,2	17,9	— 0,7
22	14,0	26,8	17,4	25,4	16,8	21,9	7,6	21,9	11,0	18,3	7,8
23	15,2	23,3	17,2	27,1	15,1	20,6	9,0	22,9	11,7	22,3	— 1,5
24	18,5	26,2	11,9	27,2	13,4	19,0	9,1	17,6	11,4	21,0	1,8
25	15,2	19,8	14,6	23,9	10,8	19,9	12,1	19,4	12,5	23,4	— 2,8
26	15,4	20,2	15,6	23,7	9,2	23,5	8,1	20,6	11,4	21,8	— 0,4
27	14,7	23,8	15,7	23,2	11,1	23,4	11,0	20,8	9,1	21,0	— 2,0
28	13,8	26,8	12,7	24,4	15,3	31,7	11,2	17,4	8,5	22,6	— 2,8
29	14,2	22,4	14,8	29,2	16,1	27,6	10,5	18,6	6,5	16,0	— 1,3
30	16,2	20,5	15,8	25,3	17,1	21,8	10,3	19,4	6,8	15,9	— 4,0
31	"	"	18,4	24,2	16,4	21,6	"	"	5,5	15,0	"
Moyenne	14,21	22,19	15,96	27,13	15,88	25,20	12,22	22,23	10,53	19,15	4,84

COMMISSION MÉTÉOROLOGIQUE DE LA GIRONDE

Observations thermométriques du Phare de Grave (Suite).

Décembre 1904		Janvier 1905		Février 1905		Mars 1905		Avril 1905		Mai 1905	
minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima
3,2	9,5	1,2	6,5	6,6	10,5	3,0	10,4	8,3	20,4	10,4	19,9
4,9	8,5	8,1	5,4	8,0	12,3	1,2	9,7	8,6	20,0	9,9	16,5
3,1	8,9	8,8	2,5	6,1	12,7	1,6	8,4	10,0	14,2	9,1	16,0
4,4	12,6	2,0	8,0	0,2	10,6	3,5	9,0	10,9	16,2	7,3	14,9
8,3	12,4	3,1	10,1	2,9	12,2	1,6	10,7	10,9	13,0	7,0	14,3
11,1	15,5	6,0	10,3	2,1	9,6	4,0	10,7	10,0	16,0	9,6	15,4
13,0	15,2	8,6	9,4	0,2	8,4	8,2	12,3	4,3	15,4	8,9	11,0
6,4	11,3	8,8	7,8	1,4	9,3	7,5	13,3	10,3	14,9	6,5	15,6
5,1	13,7	2,6	12,3	2,2	4,5	5,9	15,3	8,1	20,3	10,4	16,1
7,6	11,7	5,0	9,3	0,2	8,6	7,4	13,6	12,5	21,9	7,0	19,0
3,8	11,4	2,2	7,4	1,4	6,2	5,6	16,6	10,9	17,3	9,4	21,6
8,9	12,0	2,0	7,6	0,1	9,7	8,0	13,5	10,4	16,7	11,0	21,0
5,9	9,9	1,6	8,3	1,2	9,0	6,6	17,7	11,5	18,9	9,7	17,0
5,0	12,4	0,6	9,3	0,8	10,8	6,3	13,5	10,4	16,4	6,5	17,0
10,0	12,1	3,5	7,2	6,2	12,5	9,7	13,3	7,6	16,4	9,0	17,7
11,1	13,2	5,8	10,4	3,8	10,4	5,7	13,8	9,1	16,3	10,1	20,0
6,0	12,3	6,4	9,7	3,7	11,7	8,5	15,4	6,6	16,5	8,8	17,0
4,3	8,8	4,7	9,2	4,4	11,2	10,0	11,6	8,3	14,5	12,0	18,6
6,6	8,9	2,1	8,4	7,4	11,1	5,0	14,7	6,0	14,9	10,7	18,5
3,1	10,2	0,6	8,4	5,0	7,3	7,1	14,9	6,0	9,2	11,5	19,2
1,0	9,2	1,2	8,2	2,0	7,4	7,8	13,2	6,0	9,5	11,0	22,2
5,1	12,2	0,2	9,4	1,1	4,6	9,6	15,2	7,2	12,3	9,4	15,0
5,4	10,4	3,4	10,2	0,9	5,0	5,6	15,9	5,1	14,9	6,1	17,5
4,5	9,2	4,2	8,4	1,8	8,7	7,6	13,0	6,5	14,6	6,0	17,2
3,2	9,9	6,2	13,7	1,0	9,9	2,4	13,2	6,7	16,9	7,8	19,0
5,0	9,6	3,8	10,3	1,4	11,3	6,0	14,2	6,6	19,1	9,7	19,6
1,6	9,2	1,0	7,9	3,8	9,9	8,9	19,2	6,7	19,0	11,0	20,2
1,1	9,4	1,0	8,5	4,6	10,9	8,9	14,3	10,8	17,2	10,4	26,0
0,5	6,8	1,8	5,4	»	»	6,2	19,4	10,9	15,0	10,7	24,2
1,4	11,4	2,3	5,1	»	»	8,2	27,0	11,0	19,4	10,1	22,8
8,6	10,2	2,0	11,4	»	»	7,1	19,2	»	»	18,1	19,2
5,23	10,90	1,90	8,58	2,41	9,33	6,18	14,26	8,61	16,31	9,36	18,34

COMMISSION MÉTÉOROLOGIQUE DE LA GIRONDE

Observations thermométriques de Château-Loudenne.

Dates	Juin 1904		Juillet 1904		Août 1904		Septembre 1904		Octobre 1904		Novembre 1904	
	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima
1	8,0	17,1	10,3	21,8	15,2	27,0	13,8	21,4	11,8	18,1	4,9	16,1
2	7,3	19,0	11,2	20,2	17,1	29,1	11,2	20,2	12,8	17,8	7,1	14,7
3	11,5	17,7	14,1	25,4	18,2	31,1	9,6	21,5	15,0	18,5	7,7	12,1
4	11,8	20,6	16,3	26,0	20,2	29,3	13,0	24,0	12,3	22,0	4,0	18,0
5	12,2	20,5	16,8	26,0	18,8	26,2	14,1	29,0	10,1	26,0	7,4	17,6
6	13,2	25,0	12,5	28,2	15,0	26,1	12,5	20,2	14,9	20,4	10,1	17,0
7	15,3	26,1	16,9	31,0	18,9	27,0	12,0	20,5	15,0	17,0	4,9	16,8
8	15,9	19,0	17,7	31,9	19,0	27,8	8,0	22,1	8,2	15,8	9,2	15,6
9	14,7	20,8	18,0	32,0	18,2	26,4	10,3	24,9	9,0	15,0	5,4	16,2
10	13,9	23,0	19,0	28,0	18,8	27,9	14,2	21,3	5,8	14,9	12,8	16,3
11	15,1	16,5	18,2	25,0	18,5	24,8	15,0	26,4	5,8	15,0	12,8	18,6
12	13,0	22,0	15,0	24,6	15,7	24,3	11,9	24,0	5,6	16,0	10,2	16,8
13	11,3	22,6	14,3	26,5	17,3	28,7	15,0	18,6	8,5	18,0	10,0	16,2
14	14,1	23,0	17,0	31,0	15,8	27,8	13,1	20,3	8,9	20,8	6,8	10,9
15	14,3	24,8	18,0	29,9	15,7	28,5	12,8	19,9	8,0	20,8	7,6	16,2
16	16,5	28,5	17,0	29,8	16,1	26,1	14,1	22,7	8,3	18,2	1,9	10,8
17	15,8	29,0	21,0	37,0	17,2	29,7	13,8	24,8	7,8	18,9	7,7	11,3
18	13,8	20,8	18,8	32,3	12,0	23,0	13,0	21,7	7,9	19,1	2,7	12,0
19	14,9	24,7	18,8	27,8	11,5	24,5	15,3	25,8	14,1	23,7	— 1,2	12,0
20	14,6	26,0	17,0	25,6	15,2	26,9	13,6	23,6	11,9	24,0	2,1	9,4
21	15,6	25,0	16,8	28,0	14,7	21,1	8,9	19,2	14,0	17,1	1,5	8,4
22	15,0	25,0	17,7	27,5	12,0	22,8	8,8	21,1	8,2	17,2	6,9	10,0
23	15,0	27,7	17,1	29,0	11,7	21,4	12,4	20,7	13,0	24,0	— 2,2	7,9
24	13,3	27,0	15,9	27,0	12,0	18,0	8,9	16,5	13,6	23,6	2,0	4,9
25	12,9	19,1	15,0	22,0	11,8	21,6	11,9	18,3	11,9	23,0	— 1,2	3,8
26	13,0	21,8	14,6	22,7	8,6	22,8	8,2	18,5	11,8	20,3	— 0,9	7,0
27	13,8	23,1	14,1	23,0	12,4	25,1	8,0	19,3	9,7	19,9	— 2,4	0,8
28	14,6	25,3	12,8	22,4	15,9	30,2	10,0	17,9	9,0	17,0	— 3,5	3,0
29	15,4	21,7	14,2	26,1	14,0	31,6	10,0	17,1	6,7	13,4	— 2,0	5,1
30	10,8	21,6	16,3	30,0	17,8	23,0	7,0	17,2	7,0	17,2	— 3,6	0,9
31	"	"	17,5	22,8	15,0	22,0	"	"	5,0	15,0	"	"
Moyenne	13,55	22,80	16,13	27,11	15,50	25,86	11,68	21,39	10,05	18,78	4,27	11,79

COMMISSION MÉTÉOROLOGIQUE DE LA GIRONDE

Observations thermométriques de Château-Loudenne (Suite).

Décembre 1904		Janvier 1905		Février 1905		Mars 1905		Avril 1905		Mai 1905	
minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima
— 3,5	7,8	1,8	2,0	5,0	12,0	1,8	10,0	7,0	18,8	9,8	18,0
3,9	6,4	— 7,0	— 2,0	2,0	14,0	2,9	8,0	8,2	19,7	5,0	15,0
2,0	8,8	— 8,5	0,0	4,0	11,8	2,0	6,8	9,9	14,0	5,0	13,0
2,4	9,8	— 3,0	3,0	0,0	10,5	3,0	8,2	9,0	15,3	7,0	14,0
5,7	11,2	1,5	8,6	2,0	11,0	— 0,8	10,1	8,0	15,0	8,5	13,0
7,1	14,6	4,0	10,7	— 0,9	9,6	5,3	11,0	8,5	13,4	8,0	13,2
11,3	15,6	9,0	10,5	1,0	9,0	6,2	12,0	2,0	16,3	6,0	11,5
5,9	12,7	5,5	7,0	1,8	6,0	2,8	13,8	4,6	12,2	6,0	16,2
5,2	13,5	2,0	11,5	— 3,3	2,0	4,0	15,0	6,7	20,2	10,0	12,1
7,0	11,7	3,2	7,3	1,0	2,8	3,5	13,0	12,0	20,2	6,8	16,0
7,0	11,0	— 2,0	6,5	2,0	6,2	4,8	17,5	10,2	19,0	8,6	19,0
7,8	12,3	— 1,5	6,0	2,0	9,0	2,0	12,0	9,8	17,0	10,4	20,4
5,2	9,8	1,6	8,5	0,0	8,0	4,5	16,2	10,5	19,0	9,5	15,0
4,7	12,9	0,0	10,7	— 0,9	11,8	8,0	13,0	10,6	16,0	6,8	14,5
7,0	12,6	1,7	6,4	6,0	12,0	9,0	13,5	5,0	16,2	9,0	16,2
12,0	14,1	4,5	7,5	6,0	11,0	5,8	12,0	4,0	16,4	9,8	18,0
9,5	13,0	6,0	10,0	3,4	12,0	4,4	14,4	5,0	15,8	8,0	16,0
5,1	7,1	2,8	8,9	4,0	9,2	9,0	12,5	6,5	13,0	9,6	17,5
5,5	8,8	0,0	7,0	2,0	12,0	5,0	14,5	6,0	12,6	11,0	19,8
0,5	7,1	— 1,4	6,0	4,3	7,2	6,0	15,8	4,0	8,2	10,2	19,0
0,0	10,1	1,0	9,0	1,8	6,1	7,0	12,0	5,0	9,6	11,0	20,2
4,8	13,0	3,0	10,0	1,5	3,5	7,7	12,9	6,0	10,0	9,2	12,0
4,6	11,3	3,0	12,0	1,6	5,3	5,8	15,0	3,6	12,5	6,2	15,5
3,2	5,7	3,4	8,8	0,0	8,8	5,4	13,0	6,2	14,0	6,0	16,3
1,8	10,2	5,0	13,4	0,8	11,0	2,0	14,0	6,0	16,2	5,0	18,0
6,8	9,0	4,5	8,0	— 1,2	10,0	4,2	13,6	6,0	20,0	9,0	20,1
1,7	2,9	— 2,0	5,0	2,0	10,0	8,9	19,0	5,4	20,5	6,0	21,6
1,8	3,7	— 2,0	8,0	2,0	9,7	7,0	13,8	7,0	16,8	8,5	24,0
1,0	6,2	2,0	5,0	»	»	6,5	16,8	7,6	14,0	10,5	27,8
— 2,8	10,4	2,0	4,8	»	»	8,8	25,2	7,4	19,0	10,2	23,5
7,0	10,0	0,0	10,0	»	»	8,0	17,6	»	»	11,0	19,0
4,55	10,10	1,29	7,42	1,78	8,98	5,18	13,62	6,92	15,70	8,31	17,26



COMMISSION MÉTÉOROLOGIQUE DE LA GIRONDE

Observations thermométriques de Château-Lafite.

Dates	Juin 1904		Juillet 1904		Août 1904		Septembre 1904		Octobre 1904		Novembre 1904	
	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima
1	12,4	17,0	10,0	22,1	16,0	29,5	13,4	21,1	10,6	17,1	4,1	15,1
2	7,4	18,2	10,2	22,7	16,7	31,9	9,6	20,2	11,4	21,8	5,0	12,6
3	10,7	18,4	12,6	27,4	18,3	33,8	7,9	20,8	12,1	19,1	8,9	12,7
4	9,1	20,0	11,9	27,8	20,2	30,9	11,6	24,0	10,0	21,2	2,1	16,1
5	12,0	21,2	15,4	27,6	18,0	27,0	11,6	29,3	8,4	19,8	4,1	16,0
6	10,8	25,7	13,2	29,5	17,2	26,5	16,0	20,6	10,2	20,1	2,8	16,5
7	13,0	27,1	14,2	32,3	16,1	28,7	14,3	21,5	12,2	16,0	7,6	16,1
8	14,8	19,2	18,1	34,5	17,2	28,3	7,7	23,0	5,0	15,9	8,7	14,9
9	14,5	20,1	18,3	34,7	17,3	28,0	8,9	24,8	5,7	14,7	7,6	14,7
10	13,4	23,1	19,1	29,7	17,4	28,1	14,6	22,8	3,4	14,0	12,1	15,9
11	13,6	16,9	18,3	26,8	16,8	24,4	14,4	27,9	2,6	14,4	12,0	15,8
12	12,8	23,2	17,0	25,3	13,0	25,2	14,6	26,1	3,8	15,2	9,8	16,9
13	9,8	23,8	12,4	27,2	14,6	30,4	15,0	18,9	5,7	18,6	9,0	15,8
14	12,9	24,9	15,5	32,1	14,0	27,4	13,2	21,7	2,8	18,8	3,0	13,4
15	14,1	24,8	17,4	33,4	18,2	27,3	12,1	20,8	7,6	19,3	4,7	12,8
16	13,3	30,2	17,1	30,7	13,0	26,8	13,0	23,4	7,5	20,1	0,0	10,8
17	17,0	29,4	20,0	37,6	16,0	29,6	12,4	25,7	7,7	18,6	5,4	11,0
18	14,0	20,7	18,9	35,7	14,6	22,9	12,0	26,0	6,5	19,1	0,1	10,7
19	12,6	24,1	23,1	29,4	9,9	25,0	14,2	25,8	11,6	22,1	- 2,2	11,1
20	12,4	25,6	17,2	26,9	12,6	25,8	12,4	25,9	11,3	22,9	- 1,9	9,6
21	13,6	25,8	15,9	29,1	14,4	22,0	7,2	21,8	14,0	17,8	0,9	10,1
22	13,3	26,4	17,0	28,6	11,8	22,9	5,5	21,5	6,5	18,0	5,2	9,5
23	13,6	29,2	17,3	31,2	10,6	20,6	10,2	20,4	11,7	21,9	- 4,0	6,6
24	15,3	30,3	15,0	30,9	11,9	18,7	9,0	19,0	10,4	22,7	- 1,2	4,8
25	12,6	20,9	15,1	23,3	9,9	20,2	11,4	17,5	11,1	23,1	- 1,3	4,4
26	15,0	22,6	14,5	23,3	6,7	22,8	10,6	18,4	9,4	21,9	- 1,1	4,9
27	13,0	24,8	15,0	23,9	13,2	27,6	9,9	17,8	7,1	19,4	- 2,3	4,8
28	13,0	26,5	11,8	25,2	14,4	31,0	9,8	17,4	7,0	15,8	- 3,8	1,2
29	13,4	20,9	13,7	28,2	17,6	31,7	8,4	17,0	5,0	13,4	- 3,7	2,4
30	13,0	22,6	14,4	25,2	17,5	24,1	7,0	17,8	6,1	14,3	- 5,1	2,9
31	"	"	13,7	24,8	14,9	21,0	"	"	6,2	15,2	"	"
Moyenne	12,88	23,45	15,59	28,63	14,67	26,33	11,26	21,96	8,07	18,46	2,72	11,00

COMMISSION MÉTÉOROLOGIQUE DE LA GIRONDE

Observations thermométriques de Château-Lafite (Suite).

Décembre 1904		Janvier 1905		Février 1905		Mars 1905		Avril 1905		Mai 1905	
minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima
— 2,2	5,8	— 1,1	0,8	4,6	10,5	1,0	9,5	7,7	19,9	7,9	19,3
2,2	6,9	— 8,5	— 2,3	5,2	12,7	2,7	7,6	8,9	22,1	7,7	16,5
0,7	7,0	— 10,1	— 3,7	5,6	11,0	1,6	6,4	10,1	15,8	6,0	16,7
2,7	7,9	— 4,6	5,9	0,0	10,8	2,2	7,8	9,3	16,0	5,0	13,3
3,0	11,1	— 0,1	9,8	— 0,9	10,2	— 1,4	10,8	8,8	15,4	4,8	14,4
8,2	15,2	4,9	11,0	— 2,1	10,2	5,4	9,7	9,0	13,8	8,0	14,1
10,5	13,7	9,0	10,9	1,0	9,3	6,2	12,8	1,0	16,4	7,8	13,2
5,4	11,5	5,5	8,8	0,0	4,2	4,0	13,8	5,8	14,5	7,6	16,4
4,7	12,8	1,6	11,7	— 4,3	2,8	4,2	15,1	7,0	21,1	10,2	13,4
4,8	13,0	2,5	6,8	— 0,7	3,4	4,3	12,9	12,9	21,4	6,2	17,3
3,0	11,6	— 3,1	6,1	1,1	5,1	4,8	15,7	10,6	19,3	8,3	18,1
4,4	12,1	— 2,8	4,8	1,0	7,5	5,4	18,4	10,4	15,8	10,2	21,9
4,6	12,6	0,7	5,9	— 1,6	7,8	5,0	17,3	10,6	20,9	10,0	16,3
3,4	12,1	1,3	6,7	— 2,0	11,0	6,4	14,7	11,2	17,6	6,9	16,2
7,4	13,9	0,0	7,8	6,0	12,3	8,2	13,0	5,7	16,1	6,8	17,1
8,2	14,9	4,9	8,0	5,4	11,1	6,0	14,6	6,7	16,5	10,3	19,4
4,9	14,1	5,8	8,8	3,1	11,8	9,0	15,0	7,7	14,8	6,9	18,2
5,0	8,8	2,1	8,2	3,3	9,5	7,8	13,3	6,2	12,7	7,2	17,1
4,7	7,0	— 0,4	6,2	5,0	11,3	5,2	13,7	6,4	12,8	10,1	21,0
0,4	4,6	— 2,7	7,4	4,6	4,9	7,0	15,5	5,6	8,6	11,3	21,7
0,2	10,6	— 0,1	9,1	0,6	5,6	6,9	13,5	5,7	10,1	11,0	22,5
3,3	12,2	0,0	9,6	0,4	3,7	7,4	14,4	6,4	11,2	10,1	14,6
3,7	10,6	2,6	11,1	0,9	5,7	6,6	15,2	4,9	12,7	6,0	16,9
3,1	6,8	1,0	8,0	— 0,2	4,5	5,3	11,9	7,1	13,6	5,8	19,2
1,6	9,3	4,8	12,1	— 2,4	9,3	1,4	15,0	3,4	18,2	9,0	20,4
5,8	4,0	3,1	6,7	— 2,6	10,6	5,8	14,4	6,1	21,2	9,1	22,2
1,1	3,2	— 1,4	4,9	1,6	7,4	9,0	20,5	6,4	21,7	11,3	23,0
1,2	4,7	— 3,4	5,4	2,4	8,1	7,3	18,1	7,0	19,8	9,6	25,9
— 0,5	5,8	0,2	5,2	»	»	6,7	17,4	7,6	18,2	10,3	27,8
— 3,6	10,2	2,2	8,4	»	»	8,9	26,7	8,5	21,8	11,2	24,8
6,2	10,9	4,6	10,1	»	»	7,6	19,0	»	»	11,4	21,2
3,49	9,87	0,60	7,10	1,25	8,30	5,42	14,31	7,49	16,67	8,52	18,71

COMMISSION MÉTÉOROLOGIQUE DE LA GIRONDE

Observations thermométriques de Sainte-Hélène.

Dates	Juin 1904		Juillet 1904		Août 1904		Septembre 1904		Octobre 1904		Novembre 1904	
	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima
1	12,6	20,4	10,6	26,0	15,5	31,5	8,4	25,3	12,0	17,1	1,9	16,5
2	7,3	19,0	9,8	22,5	16,4	34,2	8,0	27,0	13,2	19,8	3,0	16,4
3	8,4	18,5	12,4	23,0	16,8	31,8	7,4	23,8	11,3	21,0	2,8	13,7
4	6,5	21,0	11,7	29,7	15,6	34,0	5,8	26,5	9,5	24,7	— 0,3	19,5
5	10,5	23,3	13,3	30,2	12,8	31,5	10,6	32,5	7,7	22,4	4,6	21,7
6	9,7	28,2	12,8	31,6	15,7	30,7	13,3	25,0	10,0	19,5	10,4	17,6
7	12,4	28,5	12,5	34,5	14,5	31,6	10,8	23,6	13,2	18,0	6,3	13,6
8	15,0	20,1	16,4	37,0	14,8	31,0	5,3	22,5	2,3	16,2	10,0	16,0
9	14,3	19,4	17,3	33,7	15,1	27,2	13,0	25,2	5,4	14,6	6,4	15,8
10	12,8	24,5	19,2	28,2	15,7	29,0	12,8	24,7	2,2	15,8	5,8	16,2
11	13,0	19,5	18,3	26,2	14,6	29,3	14,2	29,3	1,0	16,4	8,2	16,9
12	13,8	20,6	17,4	26,0	10,0	27,4	13,3	27,2	— 0,2	16,8	6,6	17,6
13	10,4	26,0	10,8	29,0	14,5	29,2	13,8	19,3	5,0	17,0	3,0	19,2
14	12,3	25,8	14,5	34,6	13,9	29,4	12,2	20,4	6,5	18,3	0,6	14,7
15	12,8	28,2	16,3	33,7	14,7	30,6	10,8	22,2	6,3	22,0	4,3	17,2
16	14,3	32,6	16,1	35,6	14,8	32,7	12,4	24,4	7,4	19,6	— 1,3	13,5
17	16,4	31,5	16,8	39,3	14,0	33,6	13,0	28,3	4,7	19,5	4,8	14,0
18	13,9	24,3	18,3	38,0	13,2	28,0	11,3	27,6	5,0	20,4	— 1,0	12,2
19	12,0	25,7	19,4	25,0	10,4	26,6	12,2	24,7	8,3	24,0	— 3,8	16,0
20	11,7	26,6	17,3	27,6	8,4	29,0	10,6	25,0	7,2	26,5	0,7	12,8
21	13,0	27,5	14,6	30,5	13,5	25,2	5,3	25,4	13,0	20,2	0,3	11,7
22	12,8	29,0	14,3	29,6	10,2	23,7	6,3	25,0	4,8	21,4	3,1	9,5
23	10,5	30,2	15,4	32,0	8,2	25,0	8,8	23,6	4,4	24,6	— 4,6	7,0
24	14,6	30,7	15,0	31,6	8,0	21,8	9,5	20,8	11,5	26,4	— 1,6	6,2
25	12,4	21,6	15,7	23,0	5,7	26,2	10,4	19,6	11,0	25,2	— 3,0	8,6
26	15,0	22,5	15,2	25,0	7,3	23,4	5,9	21,5	10,4	21,5	— 0,6	8,4
27	10,4	27,7	14,5	24,7	8,6	20,3	9,2	18,2	5,7	21,6	— 2,8	4,8
28	12,5	29,4	9,6	28,0	14,6	33,2	8,8	19,4	6,3	18,5	— 3,6	4,5
29	11,8	26,2	10,6	30,8	17,0	33,7	3,5	19,6	3,4	17,0	— 3,7	5,7
30	10,0	21,3	14,7	34,6	16,3	25,0	4,2	18,7	4,7	17,4	— 4,2	5,0
31	»	»	15,3	30,3	12,6	24,7	»	»	2,3	16,6	»	»
Moyenne	12,10	24,99	14,71	30,04	13,01	29,02	9,70	23,87	6,95	20,00	1,74	13,13

COMMISSION MÉTÉOROLOGIQUE DE LA GIRONDE.

**Observations thermométriques de Sainte-Hélène (Suite).**

Décembre 1904		Janvier 1905		Février 1905		Mars 1905		Avril 1905		Mai 1905	
minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima
— 4,6	10,0	— 0,6	0,6	3,3	11,3	0,7	9,6	5,8	22,4	8,4	21,0
— 0,7	6,2	— 8,8	— 0,3	5,2	12,8	1,1	9,3	6,5	24,0	7,7	15,7
— 1,2	8,0	— 11,0	1,4	3,3	10,5	0,5	6,6	10,6	16,6	5,4	16,2
2,8	11,5	— 3,8	6,9	— 0,4	11,2	0,3	9,8	8,5	15,9	3,5	15,1
3,2	11,6	0,4	9,0	— 1,4	13,2	— 2,3	10,5	8,0	15,6	4,6	14,7
6,5	16,5	3,4	11,2	— 3,0	15,1	4,0	10,8	10,4	16,8	9,2	11,6
8,7	13,8	9,3	10,6	1,4	8,0	3,5	11,0	1,5	18,6	8,5	15,0
6,0	12,5	6,3	8,8	— 0,8	6,6	0,6	15,0	3,4	16,8	6,8	17,5
4,7	14,5	1,4	12,5	— 4,0	0,8	0,9	16,6	5,4	23,6	9,0	12,6
6,6	13,0	1,3	8,6	0,2	3,5	4,4	14,3	9,5	22,5	4,0	18,2
4,5	12,6	— 3,7	8,5	1,4	6,0	5,0	18,2	10,4	21,5	6,1	22,6
6,8	12,3	— 4,5	7,8	0,4	9,2	7,7	15,0	10,5	20,7	9,3	18,0
5,2	9,6	0,3	8,9	— 3,5	10,3	5,3	17,6	10,4	21,2	10,0	17,6
2,4	12,8	— 1,3	10,3	— 2,7	13,1	7,8	14,4	11,3	17,6	5,4	16,5
7,6	13,5	2,4	9,0	1,4	12,9	9,0	14,8	5,0	17,2	9,0	17,7
7,4	13,8	6,4	9,5	3,5	13,4	6,2	14,5	3,8	16,3	10,1	18,0
6,8	13,0	6,0	10,6	4,2	12,3	4,3	14,3	6,9	15,0	5,5	20,2
3,8	9,0	1,3	9,6	4,0	12,0	6,3	13,8	5,4	13,0	7,4	24,3
3,4	6,1	— 2,7	10,2	5,3	11,8	2,6	14,7	7,0	11,8	11,0	22,1
1,6	4,4	— 4,0	7,2	2,4	7,5	5,8	19,4	7,2	12,4	10,6	24,0
2,8	11,6	— 2,6	11,3	0,5	6,5	8,6	12,5	6,6	11,5	10,4	24,8
3,0	13,7	0,3	10,2	0,8	5,4	8,2	14,6	6,7	11,4	10,5	15,3
2,4	13,0	— 0,7	13,0	1,6	5,6	7,4	14,5	5,8	13,5	6,4	18,3
2,9	8,5	1,4	9,8	0,5	9,3	5,4	13,6	5,5	17,2	3,8	19,5
1,4	11,9	3,8	13,4	— 2,6	12,5	0,4	16,7	5,0	20,0	2,4	21,0
4,7	12,7	4,7	10,6	— 2,3	10,6	3,0	17,5	4,6	23,6	7,3	23,3
3,3	4,6	— 1,6	7,0	3,0	9,2	9,1	21,2	5,2	22,2	4,4	24,0
1,8	7,6	— 5,6	10,1	2,5	9,5	7,6	18,0	4,8	18,6	9,7	25,2
0,2	6,8	— 2,2	6,0	»	»	8,4	21,5	7,8	15,2	10,6	28,5
— 3,3	10,4	1,8	6,4	»	»	8,3	23,0	9,4	20,5	11,0	26,6
1,9	5,8	— 2,7	9,5	»	»	7,8	22,0	»	»	12,6	24,3
3,31	10,69	— 0,17	8,65	0,86	9,65	4,76	15,17	6,96	17,77	7,77	19,66

COMMISSION MÉTÉOROLOGIQUE DE LA GIRONDE

Observations thermométriques du Forge.

Dates	Juin 1904		Juillet 1904		Août 1904		Septembre 1904		Octobre 1904		Novembre 1904	
	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima
1	13,8	16,9	8,8	22,0	16,2	29,1	11,2	21,6	11,9	18,9	2,5	16,0
2	7,3	18,1	8,9	22,9	17,2	33,7	9,4	22,3	14,0	21,2	1,5	15,1
3	8,6	18,3	10,4	28,9	16,4	35,7	5,7	22,9	13,0	22,3	1,2	13,0
4	6,4	21,2	13,0	28,3	17,7	29,9	9,2	26,3	9,0	24,7	— 2,7	16,4
5	10,6	21,0	13,9	27,6	17,0	28,3	10,0	24,3	8,3	22,2	4,0	16,1
6	9,0	27,4	10,6	31,3	16,2	29,3	14,3	25,4	13,9	22,9	5,7	17,8
7	12,6	25,0	12,2	34,7	14,9	30,4	12,1	24,0	17,8	17,3	7,4	16,0
8	15,0	19,6	16,1	35,3	16,7	28,3	5,3	24,4	5,8	15,2	9,6	16,8
9	14,2	23,8	18,2	30,3	18,3	26,7	7,4	25,3	5,0	14,8	3,7	17,1
10	14,5	24,9	20,0	28,3	14,6	28,7	5,3	25,4	2,3	15,8	11,0	17,0
11	14,4	20,9	18,3	27,0	14,2	26,3	13,3	30,0	— 0,5	15,3	10,0	18,3
12	14,5	20,0	17,2	25,0	10,2	26,9	15,0	25,0	— 0,8	17,0	5,5	18,3
13	9,0	21,9	14,6	32,3	13,3	32,8	16,3	19,2	0,4	18,9	5,0	18,5
14	12,0	25,0	16,3	34,3	13,3	29,3	12,1	21,9	8,8	23,6	— 0,7	17,0
15	11,5	25,3	16,6	32,3	12,3	27,7	12,5	21,3	3,9	22,9	3,9	13,4
16	14,0	32,9	17,6	32,4	10,1	28,3	10,7	24,0	5,3	23,0	— 1,4	13,4
17	14,0	30,3	19,2	39,1	13,8	29,9	10,4	28,7	2,9	19,0	3,2	14,8
18	14,2	22,3	18,9	32,3	14,2	24,3	9,1	28,3	4,6	21,0	3,3	13,1
19	10,6	25,1	19,2	26,2	6,7	25,9	13,1	23,0	4,2	24,0	— 4,6	14,3
20	12,6	26,3	16,8	27,5	9,8	28,7	10,4	25,9	6,9	21,4	— 0,9	15,4
21	13,0	26,3	16,1	29,4	13,6	25,0	6,7	21,3	9,6	25,3	1,1	13,1
22	12,2	28,1	16,4	29,1	10,6	23,1	3,0	23,0	4,4	18,8	5,5	10,1
23	11,0	29,8	16,1	32,5	11,2	22,3	5,7	23,3	10,6	24,3	— 3,9	6,6
24	13,0	28,8	16,8	29,5	10,6	18,0	8,7	20,3	9,6	25,7	1,6	4,8
25	10,0	21,0	15,2	35,2	6,6	20,3	10,6	19,9	8,6	24,9	— 0,9	5,9
26	16,6	21,9	15,1	23,5	5,0	22,7	5,1	20,3	7,3	25,5	— 0,9	11,0
27	11,1	24,9	13,5	27,1	8,0	28,9	8,6	17,9	4,2	23,2	— 3,8	6,6
28	10,9	28,6	11,1	28,5	12,0	34,3	8,1	17,7	5,2	19,3	— 4,3	5,4
29	13,2	29,0	13,5	31,2	17,6	32,5	3,2	19,1	2,2	15,2	— 4,4	6,4
30	14,2	22,9	13,1	32,5	16,0	24,9	4,5	19,9	2,4	18,7	— 4,3	6,8
31	»	»	17,9	27,2	14,5	22,3	»	»	1,2	20,3	»	»
Moyenne	12,13	24,35	15,21	29,47	13,19	27,56	9,23	23,06	6,52	20,83	1,76	13,22

COMMISSION MÉTÉOROLOGIQUE DE LA GIRONDE

**Observations thermométriques du Porge (Suite).**

Décembre 1904		Janvier 1905		Février 1905		Mars 1905		Avril 1905		Mai 1905	
minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima
— 4,0	11,4	— 1,9	6,3	4,6	11,3	— 0,4	8,2	3,6	19,3	7,5	21,9
— 4,3	7,0	— 10,6	1,3	5,2	12,8	2,0	8,6	4,6	19,9	7,3	12,8
— 0,3	10,9	— 11,4	0,0	5,1	11,8	2,0	6,9	7,6	14,3	5,1	12,6
1,2	11,8	— 2,9	6,5	— 0,7	12,3	0,6	10,9	7,6	13,3	3,0	12,7
1,9	12,3	— 0,4	10,3	— 0,4	12,8	— 1,9	10,2	7,1	13,3	4,1	13,3
4,6	17,5	1,3	11,3	3,6	13,7	5,6	10,9	9,2	13,0	9,0	13,7
9,4	15,9	10,0	10,8	0,1	11,8	6,2	10,8	1,9	17,3	8,6	13,2
8,0	13,3	4,1	8,8	— 2,4	8,5	1,0	12,2	2,1	18,3	5,9	13,6
4,3	14,8	0,3	12,2	— 3,0	3,1	0,9	14,8	2,9	24,0	10,6	13,6
7,8	12,9	— 0,7	8,8	0,3	5,0	5,6	13,6	11,6	23,6	3,0	17,5
6,6	12,8	— 4,1	8,9	0,8	8,2	0,8	19,8	9,5	19,3	4,9	23,3
9,4	13,3	— 4,4	6,3	— 0,4	8,8	2,0	11,2	11,0	18,2	10,0	23,5
6,0	12,8	— 0,6	8,3	— 4,4	10,3	3,1	13,6	10,9	22,5	10,2	14,5
2,4	13,7	— 4,4	10,3	— 3,4	10,8	4,2	13,2	11,3	14,0	5,2	13,6
9,6	13,0	6,3	12,3	— 3,5	10,0	7,1	13,6	5,6	17,3	5,4	14,0
9,8	15,8	7,3	19,1	1,3	11,7	6,1	12,7	3,0	13,3	9,0	19,7
7,1	15,9	7,1	10,8	0,3	11,3	4,6	13,2	6,6	13,0	5,6	18,8
3,6	9,0	2,1	14,3	0,1	9,4	9,6	12,6	5,1	13,3	6,0	23,8
4,4	6,8	— 3,8	8,9	6,6	9,3	2,6	12,9	6,9	14,6	10,6	17,6
3,4	7,8	— 4,4	6,8	0,1	7,3	5,9	21,8	5,6	10,6	10,6	23,2
3,3	11,8	— 1,9	9,9	0,1	6,3	6,1	12,5	5,8	9,6	7,6	23,8
2,9	13,3	— 1,4	10,8	0,4	4,0	7,9	12,8	5,6	11,8	10,0	16,5
2,3	14,3	1,7	12,0	1,6	6,3	7,6	12,9	5,1	12,8	5,6	14,5
2,6	11,9	0,1	10,8	0,1	9,3	7,2	12,6	1,9	13,0	4,6	14,5
3,2	11,9	2,6	12,9	— 2,2	11,8	— 1,0	17,8	3,1	22,3	0,6	16,2
4,3	13,8	1,0	11,1	— 2,9	10,8	2,6	17,7	4,4	22,8	5,8	19,5
5,3	12,0	— 1,9	6,3	1,4	8,8	4,6	20,2	3,1	23,9	2,6	24,4
3,8	6,3	— 6,9	8,2	— 0,2	7,8	7,6	16,9	6,2	19,0	7,6	23,6
1,2	9,3	— 2,4	8,3	»	»	5,9	17,5	9,3	14,0	7,6	24,4
— 2,3	11,3	2,1	4,3	»	»	7,1	28,5	10,2	20,0	12,6	24,2
7,3	11,7	0,6	9,1	»	»	8,6	17,2	»	»	10,1	20,1
4,01	12,14	— 0,76	8,91	0,29	9,48	4,32	14,13	6,28	16,72	6,98	18,02

COMMISSION MÉTÉOROLOGIQUE DE LA GIRONDE

Observations thermométriques d'Arès.

Dates	Juin 1904		Juillet 1904		Août 1904		Septembre 1904		Octobre 1904		Novembre 1904	
	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima
1	13,9	17,8	10,4	22,1	15,5	30,6	12,9	22,1	8,5	19,9	2,2	18,8
2	8,7	19,4	8,8	23,9	17,4	34,6	12,0	22,8	13,6	23,7	3,0	17,4
3	9,4	19,9	9,8	31,4	15,0	33,8	5,8	21,9	12,8	18,8	0,7	17,4
4	6,1	21,9	14,4	27,9	19,8	29,2	11,1	23,5	9,2	22,9	- 1,5	20,5
5	10,8	21,6	11,1	28,1	17,9	26,9	9,1	33,9	7,9	22,3	0,7	19,3
6	9,1	28,4	11,4	31,1	11,4	30,0	15,6	21,0	11,9	18,7	3,3	19,7
7	9,4	24,8	14,3	36,0	15,5	31,0	12,7	22,6	15,5	18,0	6,4	19,5
8	14,4	19,3	17,7	38,9	17,3	28,7	7,1	25,7	6,3	15,6	9,4	16,8
9	15,0	20,7	19,4	30,9	18,2	27,1	8,0	25,4	5,2	15,3	5,4	17,4
10	14,1	25,6	19,2	27,2	15,1	28,9	14,9	26,3	3,1	16,1	5,2	18,3
11	13,8	17,4	18,6	26,5	15,5	26,1	13,8	30,9	- 0,3	15,9	5,0	18,7
12	11,8	19,2	16,9	25,0	12,0	27,3	15,2	25,8	0,1	16,6	5,9	18,5
13	9,4	24,7	11,8	29,5	14,3	34,2	16,1	19,3	3,8	19,6	5,0	17,8
14	12,0	25,2	15,1	36,8	16,1	27,7	14,0	22,6	4,3	23,6	0,3	14,7
15	12,2	26,0	17,4	32,3	14,1	27,8	14,4	22,8	4,1	22,2	1,7	17,6
16	14,4	34,9	17,1	32,5	11,9	28,8	11,5	26,1	6,7	19,0	1,2	13,9
17	17,0	29,6	18,9	40,9	10,3	29,0	10,9	31,6	3,0	20,1	- 0,4	10,6
18	14,4	21,6	19,5	32,3	9,0	28,0	9,4	29,7	3,9	21,1	- 2,5	12,3
19	10,5	26,6	17,5	25,8	8,0	24,8	13,0	29,5	7,8	21,0	- 3,1	13,6
20	13,2	26,7	18,3	27,9	10,9	28,0	8,9	27,0	7,4	23,4	- 1,4	14,5
21	13,9	28,9	14,3	30,7	14,0	28,1	6,7	21,8	12,0	19,7	1,2	12,4
22	12,6	29,0	16,0	30,3	12,0	23,6	4,1	22,3	5,2	20,6	4,8	10,3
23	11,4	30,0	15,1	30,7	12,4	23,8	5,0	25,1	11,4	25,1	- 2,9	7,0
24	13,4	28,8	12,9	30,8	11,9	28,7	7,8	21,6	9,1	24,9	- 0,8	5,0
25	14,1	21,5	15,3	22,9	8,2	20,8	9,4	19,3	10,9	26,5	- 1,0	8,6
26	16,7	21,9	16,1	23,0	5,9	22,9	5,6	24,4	8,8	26,9	- 0,8	11,0
27	11,3	25,8	15,3	24,7	9,4	30,3	9,6	19,7	5,2	22,9	- 3,8	4,4
28	11,0	30,0	9,1	28,0	12,8	30,5	9,5	18,9	5,8	10,9	- 5,4	4,0
29	14,8	24,8	12,8	31,8	16,3	31,6	4,6	20,2	2,4	15,9	- 5,2	5,8
30	11,0	21,2	14,1	32,6	15,9	25,8	5,6	21,3	2,8	15,3	- 3,4	7,0
31	"	"	18,1	27,8	17,2	25,6	"	"	1,8	17,2	"	"
Moyenne	12,83	24,42	15,05	29,69	13,59	28,20	10,14	24,17	6,78	19,99	0,97	13,74

COMMISSION MÉTÉOROLOGIQUE DE LA GIRONDE

Observations thermométriques d'Arès (Suite).

Décembre 1904		Janvier 1905		Février 1905		Mars 1905		Avril 1905		Mai 1905	
minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima
— 4,7	8,8	1,1	3,7	3,1	11,9	1,5	11,0	4,1	23,9	6,9	21,1
— 2,0	7,0	— 10,3	1,3	4,7	12,5	2,2	10,3	5,1	21,0	8,7	16,0
— 1,4	7,5	— 11,3	0,4	4,1	11,8	1,0	7,2	9,9	14,7	8,4	16,6
1,3	10,7	— 3,0	1,2	— 1,0	12,6	0,5	9,7	6,8	18,3	4,4	15,3
1,4	12,2	0,5	10,0	— 0,8	14,0	— 1,0	11,6	8,6	15,0	5,3	14,7
5,1	13,9	3,7	11,8	— 3,5	13,7	1,6	11,8	9,4	16,1	7,9	13,8
5,6	14,4	8,6	11,5	— 0,7	10,6	7,4	13,0	2,5	17,3	7,0	14,0
7,7	13,0	4,2	10,0	— 1,1	9,5	1,3	15,0	2,9	17,6	6,8	16,0
3,7	14,3	1,4	12,3	— 3,7	4,9	2,7	16,0	4,8	26,6	10,8	14,6
7,2	12,9	0,0	8,9	— 0,1	5,6	6,2	13,9	12,7	23,4	3,8	10,7
5,8	12,7	— 4,0	8,0	1,2	9,0	2,1	18,3	9,8	19,6	5,5	23,2
7,9	12,6	— 4,5	6,0	— 0,4	10,3	7,0	12,9	10,9	21,6	9,9	23,9
5,8	11,0	— 0,8	9,0	— 4,1	11,4	6,4	17,7	12,4	21,8	10,7	19,6
1,6	13,7	— 2,0	12,8	— 3,3	12,0	7,6	14,6	11,5	16,9	5,8	16,6
6,9	13,0	2,4	10,9	0,8	13,9	10,0	11,9	6,5	19,6	9,1	18,0
9,4	14,6	6,4	11,1	4,6	12,0	6,9	13,7	5,1	16,3	10,4	20,9
8,9	9,3	6,8	11,3	4,8	11,6	5,7	14,4	7,8	17,0	7,8	19,6
1,2	10,9	1,3	10,0	5,0	11,9	8,1	14,0	6,4	12,8	6,9	21,9
3,7	6,0	— 3,5	9,6	7,3	12,2	3,0	16,7	7,0	14,0	10,8	20,0
2,0	6,6	— 4,0	7,3	4,1	8,0	6,9	21,9	6,7	8,7	11,4	24,1
2,4	11,6	— 2,7	11,6	0,5	6,8	9,2	13,2	6,0	10,3	9,3	26,0
1,8	12,8	— 1,2	11,0	0,8	4,6	8,4	15,0	6,3	12,6	10,0	12,9
— 0,7	12,0	— 2,0	13,6	1,1	6,0	8,4	14,6	5,9	13,8	6,3	19,7
— 0,5	7,7	— 1,1	10,3	0,2	12,0	9,0	12,3	6,1	15,9	5,1	16,9
1,5	13,3	3,0	13,6	— 3,9	12,9	3,9	16,0	2,8	24,2	1,3	20,3
5,1	11,9	0,9	11,9	— 2,8	11,8	4,0	17,6	3,7	24,4	6,5	22,0
4,7	6,7	— 1,8	6,6	1,8	9,6	7,0	21,0	4,8	23,5	8,1	26,6
2,3	6,8	— 3,0	8,9	3,8	10,7	7,4	18,0	7,7	19,9	8,4	27,0
— 0,1	7,0	— 1,9	6,7	»	»	6,3	21,6	10,4	19,1	13,4	22,0
— 3,3	11,5	0,6	4,6	»	»	7,4	25,7	10,7	22,4	10,4	22,6
2,2	11,3	1,1	9,6	»	»	10,4	18,7	»	»	11,4	22,3
2,98	10,89	0,49	8,89	0,80	10,49	5,44	15,24	7,18	18,28	8,02	19,61



COMMISSION MÉTÉOROLOGIQUE DE LA GIRONDE

Observations thermométriques d'Arcachon.

Dates	Juin 1904		Juillet 1904		Août 1904		Septembre 1904		Octobre 1904		Novembre 1904	
	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima
1	11,9	19,3	13,4	22,7	16,4	29,0	14,5	21,6	12,8	18,8	8,2	15,6
2	11,2	21,4	12,0	23,2	18,5	30,4	13,6	21,8	15,0	21,8	5,5	15,1
3	12,1	19,6	19,6	30,1	17,7	30,6	10,2	21,6	12,9	18,2	4,2	12,8
4	8,4	20,4	16,4	26,6	21,5	27,8	13,0	25,8	11,4	20,1	0,4	18,6
5	10,9	20,1	14,8	26,8	19,3	26,8	12,8	30,3	10,2	20,4	5,6	19,1
6	9,6	27,8	13,7	31,8	14,6	30,4	16,4	21,8	14,6	18,8	11,6	16,3
7	13,0	23,3	17,4	34,2	17,4	29,8	12,8	21,6	15,6	18,2	9,8	17,9
8	12,9	18,1	19,6	38,2	19,0	28,3	10,1	24,5	9,4	14,8	10,2	15,1
9	13,7	21,3	19,4	29,8	19,4	26,3	11,5	24,0	8,0	14,9	6,4	15,8
10	13,5	24,4	19,1	26,2	17,4	26,4	15,7	24,6	5,6	14,8	11,6	17,6
11	13,3	17,8	18,7	26,3	15,8	25,8	14,8	29,3	5,4	14,8	12,1	16,6
12	14,7	19,8	18,2	26,7	15,6	25,9	15,6	25,2	3,9	15,8	6,1	16,8
13	12,4	25,2	14,5	27,0	15,6	33,4	16,4	19,8	6,2	16,8	6,2	16,2
14	13,1	26,8	16,6	35,6	18,6	27,4	13,2	21,8	6,3	20,1	2,4	16,1
15	14,6	26,8	19,1	29,2	16,6	36,9	13,9	21,1	6,9	20,0	3,7	15,6
16	15,2	23,5	18,1	29,0	15,2	26,4	12,9	23,6	10,8	18,2	2,4	12,8
17	16,6	27,3	19,7	40,4	16,7	27,4	12,6	27,8	7,4	18,3	7,6	10,6
18	14,6	22,6	20,8	29,1	14,1	23,8	12,5	26,8	9,1	19,6	— 0,9	12,8
19	12,4	26,8	20,3	25,8	13,2	24,4	12,3	26,7	9,0	20,4	0,4	11,8
20	14,6	26,5	19,1	26,8	13,1	29,1	11,0	24,6	8,8	20,8	1,6	15,3
21	14,1	25,9	15,7	29,8	16,5	25,6	9,4	21,6	13,4	20,6	4,6	12,1
22	14,4	29,2	13,6	29,3	15,5	24,3	7,1	18,8	9,6	17,2	7,8	12,3
23	14,2	29,8	17,6	28,4	15,0	23,0	7,4	22,8	11,4	23,6	— 1,4	5,8
24	16,3	29,9	16,2	30,0	12,1	16,8	8,7	19,6	11,6	23,8	1,1	6,0
25	14,2	23,8	15,5	24,4	10,2	20,0	10,4	17,8	12,4	23,6	— 0,7	4,3
26	16,6	23,4	15,1	25,0	12,0	21,4	9,2	19,6	12,2	23,4	— 0,4	7,8
27	13,5	25,0	15,7	25,6	14,6	28,2	10,6	17,6	8,9	23,6	— 2,4	7,0
28	15,1	29,7	13,2	26,4	17,2	33,2	9,4	18,3	9,1	16,3	— 4,9	3,8
29	16,8	23,6	15,2	31,1	17,4	28,8	7,6	18,8	4,8	14,8	— 3,9	5,1
30	15,6	21,2	16,7	32,8	16,7	24,0	11,4	19,0	4,0	15,6	— 3,4	5,8
31	„	„	18,6	26,2	16,0	21,3	„	„	5,0	15,8	„	„
Moyenne	13,65	24,01	16,80	28,95	16,09	26,86	11,90	22,61	9,41	18,84	3,72	12,60

## COMMISSION MÉTÉOROLOGIQUE DE LA GIRONDE

## Observations thermométriques d'Arcachon (Suite).

Décembre 1904		Janvier 1905		Février 1905		Mars 1905		Avril 1905		Mai 1905	
minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima
-2,4	6,8	2,0	3,8	5,3	11,0	-0,3	9,8	4,6	20,8	7,6	21,4
-1,4	6,6	-8,3	-1,0	5,2	11,4	1,6	10,6	8,5	20,3	7,5	16,7
0,0	10,8	-10,0	-1,6	5,6	11,5	1,4	7,6	8,2	15,6	8,4	16,8
2,6	11,6	-3,4	5,3	0,6	10,8	0,9	7,8	7,8	16,8	6,6	15,2
4,2	12,0	1,5	10,6	0,6	11,6	1,3	11,8	7,6	15,8	7,0	15,0
8,5	17,6	6,0	11,6	-1,0	10,4	5,2	11,0	7,5	16,0	6,9	13,8
13,1	15,8	7,4	10,8	-3,8	10,6	6,8	12,8	6,1	16,3	8,5	13,6
6,6	11,6	3,6	11,0	3,0	6,5	4,4	13,6	5,6	15,1	9,6	16,2
5,6	13,4	0,6	10,8	-3,4	4,2	2,7	15,8	5,1	24,6	10,7	14,9
6,6	12,2	-2,4	7,8	0,4	6,8	7,0	13,8	8,6	22,6	5,8	19,8
6,1	10,8	-2,0	6,6	1,2	7,1	1,2	18,6	10,0	19,8	7,6	22,8
7,5	12,1	-1,4	6,0	0,6	9,2	7,1	12,3	9,6	18,8	10,4	24,1
7,3	10,1	-0,2	8,0	-0,3	8,4	5,1	17,8	11,1	19,8	10,1	20,0
3,6	13,3	-1,6	11,8	-0,2	10,8	7,4	15,0	10,6	16,6	7,4	17,6
3,6	13,0	1,3	10,8	2,6	12,2	9,3	12,1	6,6	19,0	9,6	17,8
7,3	14,1	4,0	10,4	4,6	12,1	5,8	13,8	8,4	15,8	11,0	20,8
10,8	14,0	6,2	10,3	4,6	12,3	6,4	15,4	7,8	15,8	8,9	19,8
3,6	10,3	1,6	9,0	5,0	10,8	8,0	13,8	7,6	13,3	7,6	20,2
3,6	7,8	-0,8	6,8	4,8	11,5	4,4	14,5	7,3	13,6	11,1	18,4
2,1	6,8	-2,0	5,8	4,2	7,8	5,5	21,4	5,5	9,2	10,8	22,8
1,6	10,8	-1,7	9,6	1,2	5,8	7,6	16,8	5,7	10,6	11,5	26,6
1,0	11,4	-0,7	8,8	0,6	5,2	6,6	14,8	6,6	13,2	10,6	12,8
2,6	10,8	0,5	10,8	0,6	5,4	6,6	14,8	6,4	12,6	6,6	20,8
1,1	7,6	1,8	9,3	-0,5	10,8	7,6	13,1	6,8	15,1	6,6	18,2
0,6	11,8	3,6	11,8	-2,8	11,0	1,4	14,8	4,4	19,8	10,6	19,8
6,6	11,8	1,4	10,3	0,0	11,4	4,4	15,0	8,6	21,1	8,8	21,5
4,8	6,2	-0,8	5,6	3,2	9,3	5,3	21,6	9,1	21,5	9,3	22,0
2,6	6,3	-1,2	6,6	-0,4	9,5	9,2	15,8	9,3	18,8	10,0	26,2
0,0	6,1	-2,4	5,6	»	»	7,9	19,1	10,1	18,4	11,6	25,4
-2,0	11,4	2,0	4,4	»	»	9,6	27,8	9,8	22,0	13,0	21,6
6,1	10,8	1,4	8,8	»	»	10,8	18,4	»	»	12,8	21,8
4,00	10,83	0,19	7,94	1,48	9,48	5,43	14,88	7,70	17,29	9,17	19,50

COMMISSION MÉTÉOROLOGIQUE DE LA GIRONDE

Observations thermométriques de Bordeaux (Direction des Eaux).

Dates	Juin 1904		Juillet 1904		Août 1904		Septembre 1904		Octobre 1904		Novembre 1904	
	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima
1	10°,3	18°,8	11°,1	23°,7	16°,3	34°,0	13°,1	23°,2	12°,3	18°,7	3°,8	17°,1
2	9°,0	19°,7	13°,4	24°,2	18°,8	33°,7	11°,0	22°,9	13°,8	20°,7	3°,2	16°,7
3	10°,3	19°,0	10°,5	30°,7	19°,2	34°,6	8°,8	24°,6	12°,8	22°,7	2°,3	14°,8
4	9°,6	24°,2	15°,8	30°,7	20°,3	34°,0	11°,6	32°,7	11°,8	24°,9	—	18°,8
5	10°,7	23°,0	14°,1	30°,5	17°,8	26°,7	10°,3	32°,7	13°,2	22°,7	0°,2	18°,5
6	13°,0	28°,7	13°,2	32°,3	15°,3	31°,5	14°,6	22°,7	12°,3	18°,5	10°,0	19°,2
7	13°,6	29°,8	14°,7	36°,2	17°,3	32°,6	13°,1	23°,8	15°,0	19°,5	9°,7	16°,7
8	15°,2	20°,5	17°,6	38°,5	18°,6	33°,2	9°,3	26°,5	7°,1	16°,5	9°,2	14°,7
9	14°,8	22°,8	19°,7	36°,0	18°,7	30°,6	10°,4	27°,7	5°,0	14°,7	6°,5	15°,8
10	14°,3	23°,7	19°,6	30°,5	18°,6	29°,8	16°,4	25°,5	3°,3	15°,4	10°,6	17°,1
11	14°,3	17°,5	19°,2	29°,0	17°,4	28°,7	11°,3	28°,1	3°,0	16°,5	11°,9	18°,7
12	12°,1	22°,9	18°,3	25°,1	14°,3	28°,5	15°,3	20°,5	1,7	18,1	7,4	19,1
13	13°,8	25°,7	14°,5	30°,9	15°,4	33°,7	16°,7	19°,3	4°,0	18°,3	4°,5	18°,6
14	14°,3	28°,7	14°,5	35°,7	15°,2	30°,9	13°,2	22°,2	6°,9	21°,5	2°,4	13°,2
15	14°,8	27°,7	19°,0	36°,7	16°,2	29°,0	13°,3	21°,2	6°,8	24°,2	2,1	16,8
16	17°,6	32°,9	17°,4	33°,7	14°,8	30°,5	15°,3	24°,8	5°,8	19°,5	1,7	11,9
17	15°,3	33°,1	15°,8	39°,9	16°,3	34°,7	12°,2	28°,9	5,3	20,1	3,3	11,9
18	9°,2	24°,1	10°,9	39°,0	16°,3	24°,7	11°,4	28°,9	6,4	21,3	1,8	11,9
19	13,7	28,5	20,3	29,2	11,0	26,9	14,2	26,2	10,9	26,6	0,7	15,6
20	13,6	27,2	18,6	29,2	12,8	29,0	11,2	26,7	8,1	26,0	0,6	15,6
21	13,3	30,7	15,6	33,1	15,3	26,7	7,9	22,2	13,8	21,2	1,9	10,6
22	12,6	38,0	17,9	32,1	14,6	25,0	5,5	22,2	8,9	19,7	2,3	11,4
23	15,5	31,2	16,8	35,0	11,8	23,7	9,3	24,2	10,8	24,7	1,7	7,6
24	13,8	31,9	16,0	30,7	12,8	22,5	9,0	21,5	14,1	25,2	0,8	5,1
25	16,8	23,7	15,8	24,9	9,2	22,5	8,3	19,7	11,9	25,2	—	5,3
26	13,3	27,7	16,1	26,7	8,3	23,6	7,2	20,2	11,1	23,7	0,7	9,7
27	12,6	27,7	16,2	26,7	10,3	30,2	9,3	18,6	6,9	22,4	—	3,6
28	13,3	25,9	13,1	28,0	11,2	34,7	10,2	17,7	6,8	18,5	—	5,7
29	14,6	24,9	14,2	36,5	16,3	34,6	6,7	19,6	3,2	18,5	—	5,7
30	14,6	21,7	15,0	28,8	17,6	27,4	7,8	20,7	4,3	17,0	—	4,7
31	»	»	18,4	28,8	16,3	22,5	»	»	4,2	17,0	»	»
Moyenne	13°,39	25°,69	16°,24	31°,54	15°,33	29°,50	11°,13	24°,22	8°,37	20°,60	2°,83	12°,98

COMMISSION MÉTÉOROLOGIQUE DE LA GIRONDE

**Observations thermométriques de Bordeaux (Direction des Eaux) (Suite).**

Décembre 1904		Janvier 1905		Février 1905		Mars 1905		Avril 1905		Mai 1905	
minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima
- 2,8	4,7	- 1,0	3,2	2,5	11,2	1,9	11,2	7,2	22,2	8,2	21,1
0,7	6,1	- 7,9	- 1,1	2,8	12,7	3,4	10,7	6,1	25,7	7,9	16,8
- 0,2	10,2	- 9,7	0,5	5,8	11,5	2,6	7,9	10,6	17,7	6,3	16,7
2,6	11,8	- 1,3	6,2	0,1	12,5	0,8	8,2	10,3	15,9	5,1	15,9
3,4	11,6	- 0,3	9,6	0,0	13,5	2,3	12,2	8,9	16,5	6,0	15,3
5,2	15,3	4,3	11,8	- 1,0	15,7	1,6	11,7	8,9	14,7	9,0	13,2
8,8	17,2	7,9	11,1	1,5	11,0	4,6	12,7	4,0	19,7	6,2	14,8
6,2	12,2	7,2	8,2	- 0,4	10,6	3,0	15,7	6,0	17,2	8,4	17,5
5,8	14,8	2,2	13,4	- 0,1	3,7	0,8	17,7	4,6	24,2	10,9	14,2
5,9	12,2	1,9	8,9	- 0,3	7,0	2,8	14,9	13,3	23,9	4,9	19,7
5,3	12,2	- 1,6	7,7	1,9	6,8	5,1	21,7	11,3	21,2	6,1	23,2
5,3	12,1	2,0	4,7	2,1	6,7	5,1	12,9	10,8	20,7	11,2	19,7
5,3	9,7	0,3	9,0	- 1,6	9,7	6,2	18,6	12,2	20,8	6,8	18,7
4,2	13,7	- 1,5	10,9	0,0	9,7	8,0	15,1	11,8	16,7	6,3	14,2
6,3	14,5	- 0,1	9,6	1,8	11,8	9,8	17,0	7,3	19,5	8,2	12,9
9,3	15,1	3,6	8,9	6,0	14,7	6,3	14,6	7,1	16,7	10,3	21,7
11,5	15,2	6,6	10,9	5,1	11,7	7,9	15,7	8,0	18,0	8,7	20,7
3,2	8,2	1,9	9,9	1,3	10,7	10,2	16,5	8,8	13,9	8,3	20,9
3,8	6,1	- 1,3	8,0	5,1	12,7	5,2	15,2	7,5	13,8	11,8	21,0
2,3	5,2	- 1,8	6,8	3,3	7,7	6,6	17,8	6,3	8,9	11,8	23,9
1,8	11,8	- 0,9	10,9	0,8	7,2	7,3	13,9	6,1	10,6	10,1	26,4
3,6	13,7	- 0,3	11,0	1,3	4,5	9,7	14,7	6,3	12,1	10,8	13,7
1,8	11,8	0,3	12,7	1,3	5,8	7,8	15,7	4,1	14,7	6,4	20,2
1,7	8,9	1,0	10,2	- 0,2	9,7	6,4	14,0	6,3	15,3	5,4	19,6
1,1	11,7	5,0	13,1	- 1,8	11,5	2,4	17,9	3,2	23,7	4,2	22,1
2,6	10,2	2,3	12,2	- 0,8	10,7	5,6	17,5	6,5	23,6	5,9	24,3
4,0	5,1	1,3	7,7	3,2	9,7	5,7	22,7	7,3	24,2	7,3	26,2
1,6	4,5	- 2,2	9,2	3,1	9,5	8,9	17,6	8,3	19,2	7,3	29,3
0,6	6,7	3,3	6,2	»	»	9,0	20,9	9,3	19,2	10,3	31,0
- 1,3	10,9	1,4	0,1	»	»	9,3	28,8	10,8	23,2	9,2	24,9
2,0	10,8	0,0	9,8	»	»	10,9	21,7	»	»	13,8	25,7
3,60	10,77	0,73	8,43	1,64	10,00	5,72	15,92	7,97	18,46	8,17	20,21

COMMISSION MÉTÉOROLOGIQUE DE LA GIRONDE

Observations thermométriques de Floirac (Observatoire).

Dates	Juin 1904		Juillet 1904		Août 1904		Septembre 1904		Octobre 1904		Novembre 1904	
	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima
1	9,9	18,2	11,2	22,6	16,2	33,4	12,7	23,9	12,0	15,7	6,6	16,0
2	9,3	20,2	11,0	22,9	18,6	32,9	11,8	23,0	14,7	22,8	5,0	15,1
3	10,2	18,1	13,0	20,3	18,8	35,1	10,2	24,0	12,6	17,7	3,0	14,0
4	9,1	21,7	15,2	29,9	20,0	34,3	11,9	25,6	11,4	23,7	0,3	18,5
5	10,4	23,2	15,6	28,4	17,1	28,4	13,5	31,6	10,4	22,0	5,9	18,6
6	12,4	27,1	13,9	30,4	16,0	29,3	13,8	22,2	14,3	18,5	9,7	18,0
7	13,5	29,7	17,1	33,4	16,9	30,7	11,7	23,0	10,0	17,5	9,2	16,3
8	14,6	19,7	20,3	35,8	18,1	30,0	10,1	26,8	7,5	16,2	7,5	13,9
9	14,4	20,0	19,4	34,9	18,7	28,3	11,3	27,2	5,9	14,1	6,7	15,9
10	13,2	23,8	19,0	28,6	18,2	29,8	15,3	24,5	5,2	14,7	11,2	16,9
11	13,7	15,3	18,7	27,8	15,7	28,2	14,7	28,1	4,0	14,9	9,7	17,9
12	13,0	22,6	16,8	24,6	14,6	26,8	17,2	20,2	3,7	16,5	6,7	19,1
13	12,7	24,9	15,4	29,1	16,0	34,0	14,2	19,6	6,3	18,0	8,0	17,4
14	14,1	28,0	15,0	33,4	17,3	30,3	13,1	21,6	7,9	21,5	3,5	12,9
15	14,4	26,7	18,2	35,1	16,3	29,6	12,8	19,8	8,7	22,9	5,4	16,4
16	15,0	30,9	17,2	32,2	14,4	29,5	15,3	24,1	8,9	20,0	0,9	12,0
17	16,9	31,7	22,0	38,5	17,7	33,6	12,7	28,0	5,9	19,7	2,0	10,8
18	13,2	21,6	19,9	37,2	14,0	23,5	12,2	28,0	5,5	19,9	0,1	11,8
19	12,0	25,3	19,1	26,0	12,0	26,0	13,5	27,1	11,4	23,0	- 2,0	14,1
20	13,8	25,6	16,5	28,5	13,9	28,6	11,6	25,3	10,6	25,7	1,0	15,7
21	14,9	26,8	14,7	30,8	14,8	24,5	7,9	21,2	11,1	21,2	1,7	10,3
22	13,9	27,9	17,3	31,0	14,0	23,5	7,6	21,0	7,1	19,0	2,6	10,0
23	12,9	29,9	16,7	34,0	12,4	23,6	10,4	22,8	12,5	23,7	- 1,3	6,8
24	15,4	30,8	15,7	32,9	12,5	16,6	9,8	18,6	15,0	25,0	0,4	5,1
25	13,3	22,0	15,0	23,7	9,4	22,1	10,0	19,1	13,4	24,6	- 1,5	4,5
26	15,1	22,9	15,6	24,1	7,8	22,9	8,8	18,9	11,6	22,6	- 0,5	8,1
27	13,6	26,0	15,6	26,1	12,6	28,6	9,8	18,1	8,9	21,3	- 3,8	2,3
28	13,2	27,9	13,7	26,9	14,6	33,1	9,2	18,4	6,7	19,0	- 5,3	3,3
29	15,1	24,3	15,3	29,7	19,9	34,0	7,4	18,5	3,5	16,1	- 3,6	4,7
30	12,2	21,1	17,0	34,3	16,2	27,0	9,8	19,2	6,2	17,4	- 2,9	4,1
31	»	»	17,7	27,8	14,2	22,6	»	»	5,8	16,6	»	»
Moyenne	13,18	24,46	16,41	30,00	15,45	28,41	11,68	23,29	8,99	19,73	2,90	12,37

COMMISSION MÉTÉOROLOGIQUE DE LA GIRONDE

**Observations thermométriques de Floirac (Observatoire) (Suite).**

Décembre 1904		Janvier 1905		Février 1905		Mars 1905		Avril 1905		Mai 1905	
minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima
- 2,4	9,0	- 6,7	4,0	4,6	10,0	1,7	11,4	6,4	21,0	8,9	20,3
- 1,8	3,3	- 9,3	- 2,5	5,1	12,5	2,4	9,8	9,1	25,9	7,4	16,6
- 1,7	9,9	- 10,9	- 1,8	4,5	10,7	1,7	6,5	10,5	18,3	6,6	16,3
1,0	10,7	- 3,3	5,5	1,5	11,3	1,0	8,0	9,9	15,7	6,3	14,9
4,0	10,9	1,4	8,2	1,6	11,6	0,0	12,0	8,9	16,9	5,8	14,7
7,9	14,0	5,4	10,9	- 0,6	15,3	5,3	10,8	7,3	14,7	8,6	12,3
7,4	16,8	7,6	11,6	2,2	9,6	7,0	13,8	3,7	19,6	8,9	14,1
5,7	12,1	3,9	7,7	- 2,0	4,6	5,0	16,0	6,0	16,5	8,8	17,6
6,2	13,5	1,8	13,1	- 2,5	1,8	3,4	18,0	7,0	22,0	7,5	13,5
6,1	11,5	1,3	8,0	1,0	4,4	5,5	14,7	11,1	22,1	5,0	18,1
5,1	10,9	- 1,6	7,0	1,1	6,1	4,7	21,4	11,1	20,7	7,5	21,2
6,6	11,7	- 2,8	3,8	1,1	8,7	6,7	14,4	10,4	20,0	10,8	22,4
4,8	9,3	1,0	8,0	- 0,7	8,8	5,8	18,3	11,4	21,8	8,6	16,8
4,0	13,0	0,3	10,6	- 0,5	12,5	7,5	14,9	7,7	16,6	5,9	16,0
7,4	12,8	2,5	8,9	6,2	13,2	6,6	16,3	7,0	18,0	9,8	15,8
11,8	14,4	6,0	8,6	6,0	11,0	5,9	14,4	6,6	16,6	10,8	20,9
8,5	14,2	4,3	10,1	4,6	10,8	6,0	15,0	7,7	17,9	8,8	19,2
6,0	8,8	1,6	9,1	4,5	9,7	6,2	15,7	8,7	13,9	7,7	22,8
2,8	7,1	- 1,0	7,3	5,0	13,0	5,2	13,8	7,2	12,0	10,9	20,1
1,4	4,8	- 1,3	6,0	1,1	7,0	7,6	16,7	6,0	8,7	11,5	22,0
2,1	11,6	0,5	10,1	0,0	5,2	7,7	12,2	5,2	9,7	11,4	24,7
4,7	13,6	1,5	10,3	1,0	3,9	8,2	14,1	6,3	11,6	8,4	16,0
4,5	11,2	3,0	12,2	0,8	5,2	7,4	15,3	6,3	13,5	6,1	18,5
2,3	8,7	3,4	9,6	- 1,1	9,1	4,9	14,2	5,5	11,7	4,5	17,8
1,2	11,1	5,8	12,3	- 1,0	11,2	1,8	17,6	5,0	18,5	4,3	20,7
7,7	9,4	0,2	11,0	- 0,9	10,7	6,5	17,7	7,1	23,0	8,9	22,6
1,5	8,8	- 2,0	6,2	2,6	9,3	10,3	22,6	8,3	23,8	7,6	25,2
9,1	3,5	- 2,6	7,9	3,6	8,6	8,8	16,7	8,4	19,2	10,0	27,0
0,0	6,2	1,3	5,6	»	»	8,8	21,3	8,8	17,6	12,3	29,0
- 2,9	10,0	- 0,9	3,6	»	»	10,3	29,0	10,2	22,4	12,2	24,6
3,0	10,1	0,4	7,9	»	»	10,7	22,2	»	»	11,9	23,7
3,71	10,42	0,35	7,77	1,74	9,14	5,83	15,64	7,83	17,76	8,51	19,53

COMMISSION MÉTÉOROLOGIQUE DE LA GIRONDE

Observations thermométriques de Sallebœuf (Ch<sup>an</sup> Vacquey).

Dates	Juin 1904		Juillet 1904		Août 1904		Septembre 1904		Octobre 1904		Novembre 1904	
	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima
1	12,6	17,2	11,6	23,2	16,2	33,0	13,0	21,2	12,2	15,4	5,2	15,0
2	9,6	19,0	12,0	22,4	17,8	32,4	11,8	21,6	11,6	21,0	5,0	14,4
3	11,2	18,2	11,2	20,2	19,8	35,0	10,4	22,2	12,8	17,6	2,4	13,0
4	10,2	20,6	13,8	29,6	20,8	34,0	12,4	25,2	10,6	23,2	0,6	16,2
5	11,0	21,4	16,2	27,8	17,0	27,4	11,2	31,6	10,0	20,8	5,6	16,4
6	12,2	27,0	14,8	39,4	15,8	29,0	14,2	22,2	14,8	19,2	10,2	16,4
7	13,4	28,6	16,8	33,0	16,4	30,4	12,8	22,8	15,6	17,6	9,4	15,6
8	14,8	18,4	18,6	35,0	16,6	29,0	10,4	25,2	7,8	15,4	8,4	12,8
9	14,8	19,4	20,4	35,0	18,4	27,6	11,2	26,0	5,2	13,4	6,6	15,0
10	13,2	23,6	19,6	28,4	18,6	28,6	15,6	24,6	4,0	14,2	11,0	15,8
11	13,8	15,4	19,0	26,2	17,4	26,0	13,4	28,4	2,2	15,0	11,8	16,0
12	13,8	22,2	18,2	23,8	13,8	26,4	17,0	27,2	3,2	16,0	8,0	16,8
13	12,4	24,8	15,6	28,0	15,0	33,4	17,4	18,4	4,8	17,8	6,6	16,2
14	14,6	27,4	14,2	33,4	17,4	29,4	13,4	20,8	5,2	20,6	2,6	11,2
15	14,8	27,0	18,8	34,8	16,4	29,4	13,0	19,0	8,4	21,6	3,6	15,0
16	14,2	31,0	17,0	33,2	13,8	29,0	14,6	24,0	10,0	17,8	5,2	10,8
17	17,2	31,6	19,6	37,6	17,6	32,6	10,8	27,2	8,6	18,6	6,0	9,8
18	14,6	22,0	20,0	36,8	16,2	23,2	11,0	27,4	9,0	19,0	— 1,2	10,2
19	11,2	25,6	21,2	26,6	12,4	26,4	12,6	26,8	10,8	22,4	— 1,4	10,8
20	13,0	26,4	18,2	26,8	12,2	28,0	11,0	25,2	10,2	24,2	1,0	14,4
21	14,2	26,8	14,6	29,2	14,8	24,0	7,6	21,2	14,0	19,0	1,0	9,2
22	12,8	28,0	16,4	29,2	13,6	24,0	7,0	20,8	7,6	19,0	7,6	9,8
23	12,6	29,8	15,6	32,8	12,2	21,8	9,6	22,8	11,8	23,2	— 0,6	6,0
24	16,6	30,0	15,2	32,6	12,4	16,4	9,2	18,6	14,8	23,8	1,8	4,2
25	13,6	22,0	17,8	24,4	8,6	21,2	10,2	17,8	12,4	23,6	— 1,2	2,8
26	16,6	22,0	15,6	24,8	9,6	22,4	9,0	19,2	10,6	21,8	— 0,2	6,8
27	13,6	26,4	16,6	25,2	12,4	28,6	10,2	17,8	7,6	20,0	— 4,0	1,0
28	12,0	28,6	14,2	26,2	13,6	33,2	10,6	17,2	6,2	17,0	— 5,0	1,2
29	14,8	24,0	14,8	29,6	17,0	32,8	8,4	17,6	2,6	15,2	— 4,4	3,2
30	14,6	20,4	16,6	24,4	18,0	26,2	9,4	14,6	3,6	16,0	— 3,4	4,2
31	"	"	18,0	27,2	15,6	21,2	"	"	5,6	14,6	"	"
Moyenne	13,46	24,16	16,59	29,57	15,40	27,81	11,61	22,49	8,92	18,84	3,27	11,01

COMMISSION MÉTÉOROLOGIQUE DE LA GIRONDE

**Observations thermométriques de Sallebœuf (Ch<sup>en</sup> Vacquey) (Suite).**

Décembre 1904		Janvier 1905		Février 1905		Mars 1905		Avril 1905		Mai 1905	
minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima
- 2,4	7,2	- 0,2	1,2	4,2	10,0	2,4	9,2	8,2	21,2	7,8	20,2
- 1,8	1,4	- 9,2	- 2,8	5,0	10,6	2,6	8,8	8,0	25,0	7,8	16,6
- 1,2	9,2	- 11,0	- 1,6	5,4	10,4	1,6	6,2	10,6	17,6	6,4	15,6
0,8	10,6	- 3,2	4,0	0,0	10,6	1,0	6,6	9,4	14,4	6,8	14,8
3,8	11,0	0,8	8,0	0,8	10,4	- 0,2	11,2	8,8	15,6	6,0	14,8
8,0	12,2	4,8	10,4	0,6	13,4	5,2	10,4	8,6	13,6	9,2	12,0
14,8	15,6	8,8	10,2	4,0	9,2	6,8	12,6	4,6	18,4	8,6	14,0
6,4	11,2	5,8	7,4	- 0,6	4,2	5,0	14,2	6,4	15,2	8,8	17,0
5,8	12,6	1,6	12,0	- 2,4	2,2	3,6	16,6	4,6	23,2	10,4	13,2
5,8	10,2	2,2	7,4	0,6	4,4	5,4	13,2	12,0	22,6	4,6	18,6
5,2	9,6	- 2,2	5,2	1,0	5,2	3,6	20,6	10,6	18,8	6,4	21,8
6,6	10,8	- 1,8	4,6	1,8	8,6	7,8	14,2	10,2	19,8	9,4	22,2
4,8	8,4	0,6	7,2	0,4	7,6	5,8	13,0	11,4	20,2	9,6	17,0
4,6	13,0	- 1,4	8,8	0,6	9,8	7,6	14,0	11,6	15,8	5,0	15,8
7,4	12,6	0,6	8,2	6,4	13,2	9,6	15,4	7,0	17,2	9,4	15,2
11,8	13,6	6,0	8,0	5,6	10,0	5,6	12,8	6,8	15,8	9,4	19,8
10,0	13,0	6,0	9,0	4,0	10,2	5,8	14,4	7,6	17,6	8,2	19,2
6,0	8,6	1,4	8,0	4,6	9,8	9,2	15,2	8,2	13,2	9,4	23,0
4,2	5,8	- 0,2	6,2	6,6	11,2	5,8	13,6	7,2	12,2	10,4	19,2
2,2	4,6	- 1,4	5,0	3,6	7,8	5,0	16,8	6,2	8,0	11,6	21,8
1,6	10,2	- 1,2	9,4	- 0,2	5,4	6,4	12,2	5,6	9,6	10,4	24,2
1,8	12,2	0,0	9,4	0,8	4,0	8,2	13,6	6,0	11,0	10,6	13,2
2,6	9,8	1,0	11,2	0,6	4,8	7,4	14,8	5,6	13,2	6,2	13,8
2,6	7,4	2,4	8,2	- 1,6	8,8	6,6	13,2	6,0	15,2	3,6	17,8
0,2	9,6	4,4	11,6	- 1,6	10,4	2,8	12,0	4,2	19,0	6,6	20,2
6,0	9,2	1,8	10,4	0,6	10,4	6,6	14,8	7,0	23,8	8,8	22,6
3,6	3,8	- 2,2	5,6	2,4	7,8	10,2	22,4	8,4	22,8	8,6	24,8
1,2	3,0	- 3,4	6,8	3,4	8,6	8,2	16,2	8,4	18,6	9,8	26,8
- 0,2	5,2	0,6	5,2	»	»	9,0	20,4	8,4	16,2	12,6	29,2
- 0,2	10,0	1,0	3,2	»	»	10,6	28,2	10,2	21,8	12,6	24,6
5,4	9,4	- 0,2	7,8	»	»	11,2	20,4	»	»	13,2	24,0
4,11	9,42	0,39	6,94	2,02	8,54	6,01	14,43	7,69	17,22	8,65	19,13



COMMISSION MÉTÉOROLOGIQUE DE LA GIRONDE

Observations thermométriques de Lussac.

Dates	Juin 1904		Juillet 1904		Août 1904		Septembre 1904		Octobre 1904		Novembre 1904	
	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima
1	11,0	17,2	10,2	23,4	15,8	31,2	12,0	24,1	7,2	14,8	3,3	18,0
2	8,4	19,4	10,2	24,3	17,0	33,5	10,7	23,5	13,7	15,4	1,7	15,5
3	10,0	19,4	11,0	30,3	19,5	36,8	6,5	26,0	7,5	14,5	2,1	15,0
4	8,0	23,6	14,6	30,8	19,5	35,4	10,2	27,0	9,4	24,8	0,4	18,0
5	8,8	22,6	14,9	30,5	16,5	29,6	9,5	32,8	9,0	19,2	5,7	16,4
6	12,2	28,4	12,9	31,6	14,0	31,8	9,0	25,4	8,0	18,8	9,4	19,0
7	12,4	30,2	15,0	34,6	15,0	32,2	12,4	24,0	12,2	17,3	6,7	14,6
8	15,2	19,5	16,2	36,6	16,0	32,0	7,5	28,0	5,5	16,8	7,7	15,3
9	14,6	19,4	17,7	38,0	15,8	33,0	8,6	27,2	4,9	14,6	5,5	15,0
10	12,5	23,3	19,5	30,1	15,8	32,2	14,0	26,0	2,2	16,0	10,3	17,0
11	14,0	17,0	18,9	28,3	16,0	27,8	13,5	29,5	1,4	16,8	11,5	17,5
12	14,2	23,8	18,2	26,7	11,6	31,2	17,6	30,0	1,0	18,0	6,3	18,5
13	11,4	25,2	14,0	31,2	14,8	35,0	16,0	19,2	4,5	18,8	5,5	17,6
14	13,7	27,6	15,1	35,0	16,0	31,8	12,8	21,8	5,2	22,0	2,9	15,1
15	14,2	26,5	19,9	36,6	15,2	30,8	12,1	24,0	8,7	22,3	4,2	17,0
16	14,4	32,4	17,8	34,7	12,4	31,2	12,2	25,4	9,2	19,2	0,4	11,8
17	17,0	33,4	20,8	38,8	16,2	35,3	11,0	29,0	6,4	20,0	4,8	11,6
18	14,9	24,0	18,7	38,5	15,4	25,5	10,3	28,0	5,4	20,1	— 1,0	12,4
19	11,5	26,3	22,0	30,2	9,7	28,0	8,0	28,0	10,2	21,9	— 2,8	13,0
20	12,8	26,3	18,7	29,7	11,3	30,7	8,5	28,4	10,4	25,4	— 0,1	15,1
21	14,7	29,4	17,2	32,6	13,4	23,7	11,0	27,1	13,2	19,6	— 0,1	8,8
22	13,2	20,6	15,5	32,2	12,7	22,8	7,6	23,8	7,7	20,0	6,2	10,3
23	12,4	31,3	16,2	34,1	9,5	23,0	9,6	24,5	11,9	24,6	— 2,6	6,6
24	16,2	32,6	14,8	31,3	8,0	23,0	8,0	23,1	14,2	24,4	1,2	5,8
25	12,8	22,6	15,4	23,8	8,0	22,8	5,8	18,4	11,2	25,6	— 1,1	3,6
26	16,6	22,7	14,8	24,6	7,0	24,2	7,2	18,6	9,2	23,8	— 0,4	4,2
27	13,0	27,4	15,2	26,1	10,2	30,0	7,8	17,8	5,7	21,4	— 5,0	2,0
28	11,5	29,0	12,6	28,0	14,1	34,2	9,0	19,1	5,5	19,6	— 7,3	3,2
29	14,0	23,6	14,2	31,0	17,2	34,1	7,2	18,0	1,5	17,1	— 6,0	5,0
30	14,7	23,3	15,5	35,0	18,0	29,0	8,4	15,5	1,7	17,4	— 4,0	4,6
31	»	»	16,0	30,0	14,2	24,0	»	»	4,5	12,5	»	»
Moyenne	13,01	25,23	15,93	31,34	14,06	29,96	10,13	24,44	7,36	19,54	2,18	12,24

COMMISSION MÉTÉOROLOGIQUE DE LA GIRONDE

Observations thermométriques de Lussac (Suite).

Décembre 1904		Janvier 1905		Février 1905		Mars 1905		Avril 1905		Mai 1905	
minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima
— 2,8	6,6	— 3,5	2,0	3,4	10,6	0,7	9,5	7,4	23,4	8,9	21,1
— 1,5	4,8	— 8,5	— 2,0	4,4	11,4	4,7	8,8	8,5	25,8	7,7	16,2
— 2,3	8,8	— 11,0	— 1,3	4,9	10,6	1,4	6,6	10,7	19,2	5,5	16,0
1,4	9,8	— 3,5	1,5	— 0,1	12,1	1,8	6,3	9,0	16,3	6,2	16,2
4,0	11,0	0,1	5,2	— 0,2	12,3	— 1,2	11,4	8,7	17,3	5,2	15,9
6,8	12,8	3,3	10,3	— 0,3	13,4	4,9	11,0	8,0	17,2	8,9	11,4
10,9	14,7	7,2	10,0	3,9	8,5	5,2	11,3	4,0	19,2	8,4	15,2
5,5	11,6	5,7	8,4	— 1,6	4,2	3,2	14,0	5,7	14,4	8,8	17,2
4,7	10,6	0,6	12,7	— 3,6	3,0	3,4	16,8	5,0	24,0	10,2	13,1
5,1	11,0	1,0	12,0	0,3	4,0	5,2	13,6	12,7	23,3	5,1	19,2
5,0	9,8	— 2,4	6,7	0,9	6,3	4,4	21,3	10,7	19,6	6,0	23,5
5,7	11,7	— 3,5	3,4	1,6	9,3	8,0	11,6	10,2	19,7	10,4	25,0
4,7	9,3	— 0,2	10,0	— 1,0	9,1	5,4	18,0	11,4	20,3	10,4	19,5
3,7	12,5	— 1,2	11,2	— 1,5	10,6	5,2	14,2	11,2	18,0	5,4	18,3
5,7	10,9	0,6	8,4	5,5	14,5	9,7	15,2	7,0	17,5	9,6	16,5
9,7	11,6	4,6	8,2	5,8	10,3	5,2	13,3	7,2	16,0	10,2	22,4
9,2	12,3	5,5	8,5	3,4	10,3	4,9	14,8	6,0	17,4	8,7	21,1
5,2	8,3	0,7	8,8	3,2	10,1	9,4	15,0	8,0	15,1	9,2	22,8
2,7	5,6	— 1,3	7,5	6,0	11,5	4,9	14,8	7,0	14,3	10,9	19,6
0,7	4,6	— 1,3	6,0	2,9	7,2	6,0	16,5	6,2	8,0	11,2	21,4
0,3	10,3	— 0,6	10,8	— 0,5	5,0	6,9	13,8	5,4	9,2	10,2	26,6
2,7	13,1	1,0	11,6	1,4	4,5	8,2	14,0	6,2	12,0	10,6	14,4
3,7	11,8	1,5	13,2	0,5	4,1	6,5	14,6	6,0	12,5	7,9	19,6
2,5	5,6	3,3	9,5	— 2,0	9,0	5,9	13,5	6,4	17,3	4,2	20,0
— 0,1	8,8	4,7	12,5	— 2,5	11,5	2,7	16,0	3,7	19,6	7,0	22,0
3,2	10,1	1,5	11,5	— 1,0	10,8	6,6	16,0	4,2	26,1	8,2	25,4
3,8	4,3	— 2,3	7,0	2,4	9,4	9,3	22,3	6,2	26,0	8,8	26,6
0,4	5,8	— 4,3	8,0	2,4	8,3	7,7	17,3	7,7	20,1	9,9	28,6
— 1,2	7,2	— 0,3	7,7	»	»	7,7	21,3	8,2	18,2	11,2	31,0
— 2,3	7,4	— 0,8	4,2	»	»	11,0	26,8	9,9	23,0	12,2	27,2
5,0	7,4	— 1,7	6,6	»	»	11,2	22,8	»	»	12,5	27,5
3,29	9,45	— 0,17	7,74	1,33	9,00	5,68	11,92	7,62	18,28	8,70	20,67

COMMISSION MÉTÉOROLOGIQUE DE LA GIRONDE

Observations thermométriques de Saint-Émilion.

Dates	Juin 1904		Juillet 1904		Août 1904		Septembre 1904		Octobre 1904		Novembre 1904	
	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima
1	12,2	17,2	10,8	23,0	15,8	33,5	12,6	22,8	9,6	16,8	3,2	17,9
2	9,5	18,8	11,3	23,8	18,7	34,1	10,7	23,3	14,6	21,4	2,4	16,2
3	11,3	18,3	11,7	30,0	18,3	36,8	8,9	23,4	14,4	22,7	1,3	15,3
4	10,0	21,5	15,7	29,7	20,8	33,9	11,7	26,7	10,0	24,0	— 0,7	18,7
5	10,3	22,5	10,7	29,0	17,0	28,3	11,3	32,7	9,4	21,1	6,7	15,6
6	13,5	27,3	14,7	33,0	15,3	30,5	15,8	24,0	11,2	20,0	9,4	19,0
7	14,0	29,2	15,3	34,9	16,3	32,3	12,7	23,8	11,3	17,5	6,4	15,0
8	15,5	29,8	11,8	37,1	17,1	31,1	8,7	26,2	6,5	16,0	7,0	14,4
9	15,3	19,8	20,8	36,4	18,4	30,5	10,2	28,2	4,0	14,4	5,3	15,2
10	13,7	22,8	21,2	28,5	18,7	30,4	16,2	25,9	3,0	16,3	6,8	17,3
11	15,2	14,8	19,3	27,0	16,7	27,8	15,1	28,0	1,3	15,8	4,8	17,2
12	14,3	22,5	18,3	25,1	12,8	28,4	17,5	29,9	1,7	18,0	5,6	17,9
13	13,0	25,0	14,8	30,5	15,4	34,8	17,3	19,9	4,9	19,2	5,3	18,0
14	14,6	27,8	14,7	34,8	14,7	30,5	13,6	21,7	7,3	21,5	1,3	14,1
15	15,2	26,8	19,3	36,6	16,4	29,8	12,7	20,0	8,6	22,2	3,2	17,0
16	15,3	32,2	17,4	34,7	13,7	31,3	13,2	25,0	8,9	18,8	1,4	11,1
17	18,0	32,4	20,5	39,4	17,4	32,4	12,0	28,9	4,9	19,5	3,2	11,9
18	15,3	23,0	19,4	38,9	16,1	26,5	12,1	28,2	5,5	18,8	— 3,4	13,0
19	11,7	26,5	23,1	29,5	11,4	28,1	13,5	28,7	7,6	24,7	— 3,9	13,1
20	13,5	26,8	19,4	28,8	12,2	30,2	12,5	27,3	10,5	25,3	2,9	15,1
21	15,0	28,0	15,0	32,0	14,6	24,7	7,8	23,7	12,3	20,3	— 0,9	9,0
22	13,2	29,3	15,8	32,3	13,5	25,1	8,4	23,4	5,6	20,6	5,7	9,9
23	13,0	30,5	15,9	34,8	11,5	21,8	9,8	24,7	11,4	24,3	— 3,5	7,1
24	17,2	32,2	15,8	34,3	12,3	18,8	8,7	19,3	14,0	24,7	0,7	4,5
25	14,0	22,7	16,7	23,9	9,3	21,7	10,6	19,4	11,3	26,3	— 2,5	3,6
26	17,2	21,8	15,1	24,0	8,4	23,7	7,8	18,9	8,9	24,2	— 1,5	6,0
27	13,4	27,0	16,2	25,5	11,8	30,4	9,3	18,3	5,1	18,7	— 6,4	3,1
28	13,5	29,2	13,3	27,3	12,9	34,1	10,3	18,7	5,2	19,8	— 8,2	4,1
29	15,3	24,5	14,7	30,7	19,4	34,4	8,8	17,3	1,2	17,5	— 6,2	5,7
30	15,2	21,5	16,3	34,8	18,1	28,3	8,3	19,5	4,0	17,1	— 5,7	5,1
31	»	»	17,0	29,7	15,0	21,7	»	»	4,1	16,3	»	»
Moyenne	13,94	25,06	16,20	30,96	15,16	29,22	11,60	23,92	7,69	20,12	1,32	12,37

# COMMISSION MÉTÉOROLOGIQUE DE LA GIRONDE

## Observations thermométriques de Saint-Émilion (Suite).

Décembre 1904		Janvier 1905		Février 1905		Mars 1905		Avril 1905		Mai 1905	
minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima
- 4,0	8,9	- 4,8	2,2	4,3	10,7	1,8	9,3	8,3	22,7	9,4	19,4
- 2,2	2,1	- 9,3	- 2,3	4,8	10,6	2,9	9,4	9,1	25,0	7,4	16,0
- 2,6	9,3	- 11,3	- 1,3	4,8	10,4	1,1	6,5	10,4	18,5	5,7	16,3
1,2	10,5	- 3,1	1,3	0,3	12,4	1,9	6,4	9,2	15,8	6,1	16,8
3,5	10,4	- 0,1	7,6	0,4	12,8	- 0,7	11,1	9,3	17,0	8,4	14,8
6,5	15,1	4,2	10,3	0,9	14,0	5,3	11,0	9,2	14,5	5,5	11,8
10,7	15,0	8,5	10,1	3,4	10,7	5,7	12,4	3,8	18,8	8,4	14,6
4,9	11,5	5,5	7,2	- 1,3	4,0	5,2	14,7	5,5	15,0	9,3	17,6
4,5	11,1	1,8	12,4	- 2,8	2,9	4,2	17,1	6,0	24,0	10,5	14,0
4,5	11,6	1,6	8,5	0,7	3,9	5,3	13,6	13,0	23,5	4,2	19,5
3,8	10,0	- 2,3	7,1	0,9	6,7	5,2	21,4	11,0	19,2	6,4	24,5
5,2	10,6	- 2,4	7,0	1,7	8,4	8,2	12,0	10,5	19,5	10,1	24,0
3,5	8,6	- 0,7	9,6	- 0,8	9,0	5,8	17,7	11,5	21,3	10,3	18,5
3,2	12,7	0,0	11,1	- 0,6	11,1	7,7	13,7	11,3	16,1	3,5	17,4
5,7	10,9	- 0,1	7,6	5,6	14,4	9,2	14,7	7,5	17,0	9,6	16,5
7,8	12,7	5,2	9,0	5,7	10,4	5,3	16,6	7,2	15,4	10,2	23,4
5,9	12,8	6,2	7,6	4,1	10,4	6,0	14,8	6,5	16,1	7,9	20,1
6,1	8,8	0,0	8,7	4,0	9,4	9,9	15,0	8,3	15,0	8,9	23,5
2,2	5,5	- 1,5	7,0	6,3	11,6	5,5	14,7	7,2	14,7	11,6	20,0
0,0	3,7	- 1,2	10,1	3,3	7,4	7,3	16,2	5,7	8,2	11,1	22,0
- 0,2	11,0	0,5	11,3	- 1,0	5,4	6,5	14,5	5,1	9,1	10,5	26,5
4,5	13,8	0,2	11,2	1,3	4,3	8,4	13,9	5,9	11,0	10,7	13,7
2,8	14,1	3,2	12,2	0,5	4,7	5,2	14,9	5,1	14,7	5,9	12,6
1,5	6,0	4,4	9,0	- 1,1	9,0	5,3	13,3	6,9	15,4	4,9	18,3
- 0,7	10,4	6,8	13,0	- 2,3	11,7	3,3	16,5	3,8	19,5	6,3	21,2
6,0	10,0	2,3	11,2	- 0,3	11,4	5,9	15,5	6,3	24,5	8,3	23,6
2,8	9,8	- 1,8	6,1	2,3	9,9	10,4	22,1	7,4	23,8	8,3	25,4
- 0,7	2,4	- 4,0	7,9	2,7	9,8	7,8	17,1	8,9	19,9	9,0	28,3
- 1,8	6,6	0,4	6,6	»	»	8,3	21,1	8,7	17,5	12,1	30,4
- 0,7	9,7	- 0,4	5,1	»	»	11,6	27,6	10,2	23,4	12,2	28,8
5,8	9,9	- 1,4	7,0	»	»	11,3	21,6	»	»	12,9	24,5
2,92	9,76	0,21	7,72	1,71	9,19	6,03	15,04	7,96	17,87	8,57	20,43

COMMISSION MÉTÉOROLOGIQUE DE LA GIRONDE

Observations thermométriques de Château-d'Yquem

Dates	Juin 1904		Juillet 1904		Août 1904		Septembre 1904		Octobre 1904		Novembre 1904	
	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima
1	14,0	20,0	11,0	22,0	16,0	32,5	12,3	23,0	12,0	15,8	5,8	15,8
2	8,0	19,8	11,0	23,5	18,0	33,0	11,0	23,0	14,3	22,5	2,0	15,5
3	8,3	18,6	11,8	30,0	19,0	34,0	8,0	23,0	13,0	16,5	1,0	14,0
4	8,8	21,5	16,0	31,0	21,0	33,5	10,0	25,0	10,2	23,5	2,0	17,0
5	9,0	22,0	15,0	29,0	18,0	29,3	14,0	32,5	11,0	22,0	3,0	16,0
6	11,0	26,8	13,3	30,3	16,0	30,5	14,0	23,5	14,0	18,8	11,0	15,0
7	12,8	28,5	16,3	33,0	17,3	32,0	12,8	22,5	16,0	17,6	10,0	16,0
8	15,0	20,0	17,0	35,3	18,0	32,0	8,6	26,7	8,0	17,8	9,0	14,0
9	15,0	19,0	18,0	35,0	19,0	28,0	9,0	27,2	5,0	14,0	6,0	15,0
10	13,0	23,0	15,5	27,5	18,0	30,0	16,0	24,0	2,0	14,0	11,0	16,0
11	14,0	17,0	18,7	29,0	16,8	30,2	13,3	20,0	2,0	15,0	11,0	17,5
12	13,5	22,0	18,0	26,5	15,0	27,0	16,5	30,5	2,0	16,0	4,8	15,8
13	12,2	23,6	15,0	29,0	15,0	34,0	18,0	20,3	4,0	18,0	7,5	15,0
14	13,0	27,6	15,0	33,6	17,5	30,0	12,5	23,0	5,0	21,0	1,0	11,0
15	14,0	27,0	19,0	36,0	16,0	30,0	14,0	20,0	7,0	22,0	3,0	16,6
16	15,0	31,5	16,7	33,0	15,0	29,7	15,0	24,0	10,0	20,0	1,0	12,5
17	13,8	31,6	17,0	38,0	15,0	35,0	12,0	27,3	4,0	19,5	6,0	10,0
18	15,0	22,0	20,0	36,0	17,0	25,0	12,0	28,0	4,5	20,0	4,0	12,5
19	11,0	25,0	19,8	28,2	9,9	26,5	12,5	26,0	10,5	22,0	3,0	11,3
20	13,3	26,0	18,0	27,0	12,3	28,0	10,4	24,3	8,5	24,0	1,0	17,0
21	15,3	28,3	15,5	30,5	14,0	28,5	9,0	22,0	13,0	21,0	4,0	13,3
22	14,0	29,0	18,5	30,4	13,5	23,5	7,5	21,0	6,0	19,0	9,7	9,8
23	13,5	31,8	16,5	34,0	12,3	24,0	9,0	23,0	11,0	24,0	1,8	10,5
24	16,0	32,7	15,0	34,0	12,0	17,0	10,0	19,0	14,0	23,5	1,8	5,0
25	14,0	26,5	17,5	24,8	9,0	21,8	10,0	19,0	11,0	24,5	1,0	3,0
26	16,0	22,5	15,0	25,3	7,5	23,0	7,0	18,0	12,0	22,8	1,0	8,0
27	13,5	26,7	12,7	26,4	10,3	29,0	6,0	16,0	6,8	20,5	4,0	4,0
28	12,2	28,5	13,0	26,0	14,0	33,5	10,2	18,0	6,0	18,5	6,0	4,0
29	15,0	25,0	15,0	29,0	16,2	34,0	6,0	16,5	2,0	15,0	5,8	4,7
30	14,3	21,0	16,8	35,0	18,0	28,0	9,0	19,2	3,5	17,0	3,0	6,0
31	"	"	18,0	27,5	15,0	22,0	"	"	4,5	19,0	"	"
Moyenne	13,12	24,82	15,99	30,18	15,18	28,85	11,19	23,14	8,15	19,51	2,60	12,06

## COMMISSION MÉTÉOROLOGIQUE DE LA GIRONDE

### Observations thermométriques de Château-d'Yquem (Suite).

Décembre 1904		Janvier 1905		Février 1905		Mars 1905		Avril 1905		Mai 1905	
minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima
- 6,0	8,0	0,0	2,0	4,0	11,0	1,5	10,0	9,0	21,0	8,0	22,0
- 3,0	3,0	- 9,0	2,8	4,0	13,0	2,0	9,5	6,0	26,2	7,0	16,2
- 3,0	11,0	-12,4	- 1,0	6,0	11,0	1,0	6,0	10,0	17,0	6,0	17,0
- 0,3	11,0	- 4,0	4,0	- 1,0	11,3	0,5	6,0	9,3	11,3	6,0	16,8
2,0	11,7	0,0	9,0	1,0	12,0	0,0	12,0	9,0	16,5	5,0	11,6
8,0	14,2	4,8	11,0	- 2,0	15,0	6,0	10,0	8,5	13,0	8,5	11,0
13,0	15,0	10,0	10,8	3,0	9,0	6,3	13,0	5,0	20,0	9,0	14,0
5,8	12,5	4,0	7,0	4,0	5,0	5,0	16,0	4,0	16,1	8,6	17,0
6,0	13,0	- 1,0	14,0	- 2,0	3,0	1,0	19,0	3,5	22,0	10,1	14,0
5,0	11,6	3,0	8,0	1,0	6,0	6,0	14,0	13,0	23,0	5,5	18,0
5,0	11,2	- 3,3	7,0	1,0	4,0	4,0	22,0	11,0	22,8	7,0	22,0
6,0	12,0	- 3,0	5,0	1,0	9,0	8,0	13,0	9,8	19,5	10,0	24,0
4,5	9,0	- 0,4	6,8	- 3,0	8,8	6,0	18,0	11,0	21,0	11,0	18,0
4,0	14,0	- 3,0	7,0	0,0	12,0	7,5	15,0	12,0	27,5	5,0	16,0
7,0	11,6	- 1,0	9,0	6,0	13,0	9,0	17,0	7,0	18,5	10,0	16,0
10,0	15,0	6,0	9,0	5,0	9,3	5,0	13,0	7,0	16,0	11,0	21,0
11,0	16,0	6,0	10,0	4,0	10,0	6,0	15,5	7,0	17,0	8,2	19,0
5,0	10,0	1,5	8,3	5,0	10,0	7,8	15,0	7,0	14,0	6,0	22,5
5,0	6,6	- 4,0	7,0	6,5	12,0	3,5	13,0	7,5	13,5	10,0	20,0
3,0	6,0	- 3,0	5,5	3,0	7,0	4,0	18,0	6,8	9,3	11,0	22,0
1,8	11,5	- 2,3	11,3	0,0	4,5	6,0	13,0	6,0	8,5	10,0	25,0
2,3	13,0	- 1,5	11,0	0,5	5,0	8,4	14,0	5,0	11,0	11,0	18,0
2,0	9,5	0,8	13,0	1,0	4,5	7,7	16,0	5,0	13,2	7,0	19,5
4,0	8,0	1,5	9,0	- 4,8	9,0	6,0	14,2	4,0	14,6	4,8	17,5
0,0	11,0	4,0	12,0	- 2,5	11,0	0,0	17,5	3,6	18,3	3,0	20,0
6,0	13,0	- 0,3	12,0	- 1,0	11,0	7,0	16,8	5,0	23,3	8,6	24,0
4,0	8,2	- 2,0	7,0	0,0	8,5	10,7	22,0	7,8	24,3	6,0	24,6
2,0	4,0	- 4,0	8,0	3,0	9,0	9,5	17,0	8,0	21,0	8,0	26,5
0,0	4,7	- 1,0	5,3	»	»	8,0	21,5	9,0	18,0	8,0	30,0
- 3,6	10,0	0,0	3,0	»	»	7,8	29,0	10,0	23,6	12,3	27,0
6,0	10,0	- 1,0	7,0	»	»	7,8	22,3	»	»	12,8	25,5
3,63	10,50	- 0,47	7,77	1,53	9,07	5,45	15,43	7,57	18,03	8,21	19,96

COMMISSION MÉTÉOROLOGIQUE DE LA GIRONDE

Observations thermométriques de Budos.

Dates.	Juin 1904		Juillet 1904		Août 1904		Septembre 1904		Octobre 1904		Novembre 1904	
	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima
1	14,0	19,6	8,1	23,5	15,4	33,3	11,4	23,8	9,4	15,7	3,1	16,6
2	6,4	20,0	7,6	23,7	17,6	33,3	8,0	23,5	13,9	22,2	— 0,4	16,5
3	6,3	19,4	9,2	30,5	17,4	35,1	2,5	25,2	13,6	18,0	— 3,2	15,0
4	7,4	22,2	15,1	29,8	17,8	34,8	5,8	26,5	9,8	23,9	— 3,9	18,7
5	7,3	23,8	14,4	29,9	17,0	30,8	4,0	33,8	10,0	22,9	— 2,0	17,8
6	8,7	27,7	10,1	31,0	13,3	32,1	9,3	24,1	12,2	18,8	9,6	21,6
7	10,8	29,3	10,2	34,1	15,0	33,0	13,0	22,6	16,3	18,2	6,7	16,7
8	15,4	18,7	14,2	36,7	16,4	32,8	4,4	26,5	4,4	16,9	8,5	14,2
9	14,4	19,6	16,7	35,7	19,2	29,7	6,0	27,8	1,1	15,2	1,5	15,0
10	12,7	24,0	19,9	28,4	17,3	31,2	13,6	25,0	— 1,2	15,3	10,8	16,4
11	14,0	16,1	17,6	29,6	15,8	30,6	12,3	29,6	— 2,8	16,1	10,2	17,2
12	14,5	22,5	18,2	27,0	12,2	28,6	15,5	30,8	— 3,0	17,6	3,2	18,0
13	11,6	24,6	10,3	29,8	12,9	35,0	15,0	19,5	1,0	18,5	6,4	17,2
14	11,3	28,6	12,1	35,1	16,0	30,8	13,0	22,5	2,1	22,3	— 1,0	13,0
15	13,0	28,2	15,7	36,8	14,6	30,6	13,6	20,3	1,7	23,5	— 0,1	17,0
16	14,7	32,2	15,5	33,3	13,0	30,5	11,3	24,6	6,8	21,1	— 1,8	13,8
17	17,2	33,6	17,7	38,7	12,6	34,2	10,5	28,5	3,0	20,8	5,3	10,0
18	15,2	23,4	16,3	37,3	16,9	26,0	9,8	28,0	3,1	21,0	— 3,7	12,9
19	8,2	26,0	14,9	29,0	6,0	27,6	11,0	27,1	5,9	23,0	— 4,8	10,8
20	10,4	23,5	18,7	29,4	8,0	29,9	6,8	25,2	3,5	26,0	— 4,2	17,2
21	13,1	29,0	11,3	31,8	10,2	26,6	4,2	23,2	10,2	21,9	3,2	11,7
22	9,8	29,1	17,6	31,6	10,5	23,8	3,3	22,2	6,0	18,7	5,9	10,0
23	10,4	30,7	13,0	34,7	11,5	25,2	3,8	23,0	8,5	24,7	— 3,9	7,5
24	11,9	32,0	12,8	33,9	9,5	17,3	10,3	19,7	10,9	21,5	0,6	5,5
25	12,5	24,8	17,1	24,5	4,2	22,8	9,0	18,8	8,2	25,3	0,0	4,4
26	17,4	22,2	14,1	25,2	3,0	25,3	4,2	18,8	11,0	23,8	— 2,7	9,6
27	11,8	27,7	14,2	27,0	6,5	29,7	5,2	16,8	2,4	21,8	— 2,7	4,7
28	10,0	28,8	9,5	27,7	10,0	33,7	10,0	19,7	2,0	20,0	— 8,0	4,0
29	12,8	24,0	10,9	30,7	13,0	35,0	5,1	18,8	— 1,2	16,2	— 9,0	5,5
30	12,7	22,5	10,9	36,0	17,7	28,0	6,3	20,5	1,5	18,2	— 9,1	6,5
31	»	»	17,1	29,2	14,3	22,5	»	»	2,2	19,8	»	»
Moyenne	11,86	25,26	13,90	31,02	13,06	29,68	8,71	23,88	5,57	20,38	0,48	12,83

COMMISSION MÉTÉOROLOGIQUE DE LA GIRONDE

Observations thermométriques de Budos (Suite).

Décembre 1904		Janvier 1905		Février 1905		Mars 1905		Avril 1905		Mai 1905	
minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima	minima	maxima
- 6,3	8,6	- 1,2	3,2	3,1	11,3	0,6	10,7	8,8	22,2	5,0	20,6
- 5,0	0,8	- 10,1	- 2,3	1,1	13,2	1,2	9,5	1,8	27,0	6,6	16,2
- 3,0	12,5	- 15,8	- 0,5	4,6	11,0	0,2	6,7	10,3	16,8	4,0	16,5
- 1,9	11,0	3,6	5,0	- 5,3	12,4	0,8	7,6	10,0	17,6	5,0	17,0
0,0	11,6	0,0	8,9	- 6,0	12,9	- 3,3	11,5	9,0	16,6	5,3	16,0
6,7	14,0	3,0	11,3	- 6,6	14,8	5,1	11,4	9,1	13,8	9,5	12,4
9,6	16,7	10,0	10,8	- 2,1	9,6	6,0	13,3	0,3	20,3	9,7	14,8
5,5	12,3	3,6	7,9	3,3	5,3	1,4	16,0	0,9	17,6	9,5	16,9
3,0	13,8	- 2,9	14,1	- 3,5	3,1	- 1,3	19,5	1,4	23,8	10,0	14,8
5,0	12,0	- 1,8	8,6	1,5	6,5	5,6	15,0	13,0	24,4	0,1	19,2
5,8	10,5	- 6,8	7,3	1,6	5,1	0,0	22,8	10,0	20,0	1,1	22,9
5,0	11,9	- 7,6	5,0	0,0	9,5	9,5	12,7	10,6	19,9	5,8	24,5
4,8	9,6	- 2,2	7,2	- 6,1	10,1	5,1	19,0	11,5	21,7	7,2	19,1
1,0	13,8	- 5,2	8,4	- 3,6	12,8	8,0	15,2	11,3	17,5	3,6	16,0
6,1	11,8	- 2,8	9,8	5,1	13,7	9,3	18,8	6,0	18,7	10,4	16,7
11,0	15,0	6,0	9,6	3,6	10,1	5,8	12,7	4,6	16,3	10,6	22,6
12,0	16,4	6,7	9,7	3,0	11,2	2,7	15,7	5,4	17,5	4,3	19,5
0,5	9,8	- 0,2	9,2	5,2	11,1	9,8	15,8	6,3	14,9	3,2	23,6
5,5	5,7	- 5,1	7,7	7,0	12,1	1,7	13,6	3,7	13,5	7,1	20,0
3,4	6,8	- 6,7	6,0	3,0	8,2	2,7	18,6	7,2	9,5	10,6	22,6
1,7	12,1	- 3,3	11,4	0,0	5,7	2,0	14,3	6,5	9,0	6,8	25,8
0,4	13,7	- 5,2	12,0	1,2	5,4	8,5	15,0	5,8	12,0	11,8	14,7
- 2,3	8,4	- 3,8	13,3	1,2	5,0	6,6	15,1	4,7	14,4	7,7	20,2
- 1,1	11,0	- 2,0	9,0	- 4,7	10,0	6,0	14,5	3,1	16,0	3,0	19,4
0,7	11,8	0,6	12,2	- 7,0	11,2	- 2,3	18,3	- 0,8	19,4	- 0,3	20,8
4,9	12,9	- 2,3	12,6	- 6,4	11,1	5,5	17,0	0,3	24,2	4,0	25,1
6,0	6,0	- 1,7	7,4	3,5	9,0	5,3	22,7	1,6	26,0	2,5	25,8
2,5	4,7	- 7,2	8,5	3,1	9,1	9,8	19,1	6,7	21,0	3,3	27,8
0,8	7,1	- 2,8	6,0	»	»	5,9	22,0	8,4	18,0	4,7	31,4
- 4,7	11,0	- 4,3	3,8	»	»	6,0	29,5	10,0	24,1	11,1	26,6
6,2	10,9	- 3,4	7,2	»	»	10,4	23,1	»	»	13,2	25,8
2,70	10,77	- 2,52	8,07	- 0,07	9,66	4,34	16,02	6,25	18,46	6,34	20,50





---

**Bordeaux. — Imp. G. GOUNOUILHOV, rue Guiraud, 9-11.**

---



